

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**FABRICACIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABLES A PARTIR DE CAUCHO
RECICLADO UTILIZANDO ESPUMA DE POLIURETANO**

TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: DIANA CAROLINA SANTAMARÍA GARZÓN

QUITO

2013

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**FABRICACIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABLES A PARTIR DE CAUCHO
RECICLADO UTILIZANDO ESPUMA DE POLIURETANO**

TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: DIANA CAROLINA SANTAMARÍA GARZÓN

TUTOR: ING. ANA MACHADO C.

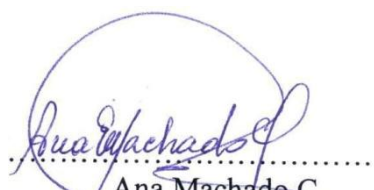
QUITO

2013

APROBACIÓN DEL TUTOR

Certifico que la Tesis de Grado titulada “FABRICACIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABLES A PARTIR DE CAUCHO RECICLADO UTILIZANDO ESPUMA DE POLIURETANO”, es original y ha sido desarrollado por la señorita Diana Carolina Santamaría Garzón, bajo mi dirección y conforme a todas las observaciones realizadas.

En la ciudad de Quito, a los 16 días del mes de enero de 2013.



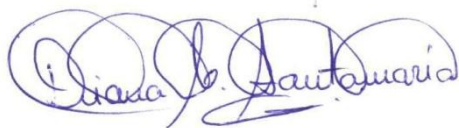
.....
Ana Machado-C.
PROFESOR TUTOR

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, DIANA CAROLINA SANTAMARÍA GARZÓN en calidad de autor de la Tesis de Grado realizada sobre “FABRICACIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABLES A PARTIR DE CAUCHO RECICLADO UTILIZANDO ESPUMA DE POLIURETANO”, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, 16 de enero de 2013



Diana Carolina Santamaría Garzón

C.C. 1717392136

dcsguceiqe@gmail.com

DEDICATORIA

Esta Tesis de Grado va dedicada especialmente con mucho amor y cariño a mis padres Eduardo y Magdalena quienes han estado conmigo en todo momento, gracias por creer en mí y sé que no les voy a defraudar ya que con sus consejos y sabiduría han sabido guiarme para ser una profesional de bien; los amo con todo mi corazón.

A mis hermanos Verónica y Jaime, gracias por estar conmigo y apoyarme siempre, a mi sobrinita Sarahí, mi tía Rita, a mi mami Rebeca quien me ha enseñado que con perseverancia y esfuerzo se puede llegar muy lejos.

A mis compañeros y amigos que me dieron palabras de aliento cuando creía que no iba a lograrlo, les agradezco de todo corazón.

Dianita Caro

AGRADECIMIENTOS

Primeramente me gustaría agradecer esta Tesis a Dios por bendecirme y darme fuerzas para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño tan anhelado.

A la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR y a la Facultad de Ingeniería Química por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de estudiar y ser una profesional de bien.

A mi directora de Tesis, Ing. Ana Machado por su apoyo y comprensión, durante el tiempo de realización del proyecto, quien con sus conocimientos, su experiencia y su paciencia ha logrado en mí la culminación de mis estudios con éxito.

También agradezco enormemente a FACERQUIM y al Ingeniero Augusto Fabara por facilitarme con la materia prima para la elaboración del proyecto, a IPSOMARY S.A. y a todo el personal del laboratorio de cauchos, quienes me abrieron sus puertas para realizar mis ensayos y poder culminar con éxito mi proyecto.

Y por último quiero agradecer infinitamente a mis padres, hermanos y familia que siempre me han brindado su apoyo incondicional y en gran parte gracias a ellos pude alcanzar este logro tan grande de ser ingeniera.

CONTENIDO

	pág.
PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE TABLAS.....	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE GRÁFICOS	xiv
LISTA DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Polímeros.....	3
1.1.1. <i>Polímeros naturales</i>	3
1.1.2. <i>Polímeros sintéticos</i>	4
1.2. Elastómeros.....	4
1.3. Caucho	6
1.3.1. <i>Caucho Natural</i>	6

1.3.2. <i>Caucho Sintético.</i>	7
1.3.2.1. <i>Estructura del Caucho SBR</i>	7
1.3.2.2. <i>Clasificación de los cauchos SBR.</i>	7
1.3.3. <i>Vulcanización del caucho.</i>	8
1.3.4. <i>Diferencias entre el caucho SBR y caucho natural.</i>	9
1.3.5. <i>Propiedades destacadas del caucho.</i>	10
1.3.5.1. <i>Dureza y Suavidad.</i>	10
1.3.5.2. <i>Elasticidad.</i>	10
1.3.5.3. <i>Resistencia a la temperatura</i>	11
1.3.5.4. <i>Resistencia climática.</i>	11
1.3.5.5. <i>Resistencia a ambientes extremos.</i>	11
1.4. <i>Poliuretano</i>	11
1.4.1. <i>Poliols.</i>	12
1.4.2. <i>Isocianatos.</i>	13
1.4.3. <i>Espuma de Poliuretano.</i>	15
1.4.4. <i>Aplicaciones de las Espumas de Poliuretanos.</i>	16
1.5. <i>Mecanismos de mezclado.</i>	17
1.6. <i>Propiedades Mecánicas de los Polímeros</i>	18
1.6.1. <i>Ensayos de tracción.</i>	19
1.6.2. <i>Ensayos de flexión.</i>	19
1.6.3. <i>Ensayo de compresión.</i>	20
1.7. <i>Biodegradación</i>	20
1.8. <i>Reciclaje</i>	22
1.8.1. <i>Reciclaje de los plásticos.</i>	22
1.8.2. <i>Reciclaje del Caucho.</i>	24
1.9. <i>Daños que causan al Medio Ambiente</i>	27
1.9.1. <i>Polímeros biodegradables de uso comercial.</i>	28
1.9.2. <i>Estructura química y degradación.</i>	28
 2. <i>PARTE EXPERIMENTAL</i>	 31
2.1. <i>Diseño Experimental</i>	31
2.2. <i>Simbología</i>	36
2.3. <i>Procedimientos</i>	36
2.3.1. <i>Proceso de fabricación de una lámina.</i>	36
2.3.2. <i>Ensayo de resistencia a la compresión</i>	37

2.3.3. Ensayo de resistencia a la tracción y alargamiento porcentual.....	37
2.3.4. Ensayo de permeabilidad al agua.....	38
2.3.5. Ensayo de dureza Shore A.....	38
2.3.6. Ensayo de resistencia a la abrasión.....	38
2.3.7. Ensayo de densidad.....	39
2.3.8. Ensayo de flexión.....	39
2.3.9. Ensayo de desgarre.....	39
2.3.10. Ensayo de envejecimiento acelerado.....	39
2.4. Equipos y Materiales	39
2.5. Sustancias y Reactivos.....	40
2.6. Caracterización física y mecánica de las láminas impermeables	40
2.7. Significado de los ensayos realizados	41
2.7.1. Determinación de la resistencia a la tracción y del alargamiento porcentual. INEN 1165.	41
2.7.2. Standard Methods of Test for Compression Set of Vulcanized Rubber. ASTM D395.....	41
2.7.3. Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness. ASTM D2240.....	41
2.7.4. Calzado de Seguridad. Determinación de la Resistencia a la Abrasión de la Suela. INEN 1924.	42
2.7.5. Standard Test Method for Measuring Rubber Deterioration-Cut Growth Using Ross Flexing Apparatus. ASTM D1052.....	42
2.7.6. Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers. ASTM D624.....	42
2.7.7. Standard Test Method for Rubber – Deterioration in an Air Oven. ASTM D 573.	42
2.7.8. Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement. ASTM D792.....	42
2.7.9. Permeabilidad al agua.	42
2.8. Datos de los ensayos	43
2.8.1. Datos de los pesos para la fabricación de las láminas impermeables	43
2.8.2. Ensayos de tracción y alargamiento porcentual.....	43
2.8.3. Ensayo de permeabilidad.....	45
2.8.4. Ensayo de dureza Shore A.....	46
2.8.5. Resistencia a la abrasión	49
2.8.6. Resistencia a la compresión.....	51

3. CALCULOS Y RESULTADOS.....	56
3.1. Cálculos	56
3.1.1. <i>Cálculo para resistencia a la tracción</i>	56
3.1.1.1. <i>Cálculo de la fuerza de la ruptura</i>	56
3.1.1.2. <i>Cálculo del área transversal de la probeta de ensayo</i>	56
3.1.1.3. <i>Cálculo de la resistencia a la tracción</i>	57
3.1.2. <i>Cálculo del alargamiento porcentual</i>	57
3.1.2.1. <i>Cálculo de la elongación porcentual a la rotura</i>	57
3.1.3. <i>Cálculo de la impermeabilidad</i>	58
3.1.4. <i>Cálculo de la mediana para el grado de dureza shore A.</i>	58
3.1.5. <i>Cálculo del grado abrasivo.</i>	59
3.1.6. <i>Cálculo de la resistencia a la compresión</i>	60
3.1.6.1. <i>Cálculo de la fuerza aplicada a la probeta</i>	60
3.1.6.2. <i>Cálculo del área transversal de la probeta</i>	60
3.1.6.3. <i>Cálculo del esfuerzo aplicado a la probeta</i>	61
3.1.6.4. <i>Cálculo del porcentaje de compresión</i>	61
3.1.7. <i>Cálculo del promedio de tensión al desgarre</i>	62
3.1.8. <i>Cálculos para el envejecimiento acelerado</i>	62
3.1.8.1. <i>Cálculo del desgarre con envejecimiento acelerado</i>	62
3.1.8.2. <i>Cálculo del porcentaje de reducción para el envejecimiento acelerado.</i>	63
3.2. Resultados	64
4. DISCUSIÓN	79
5. CONCLUSIONES	82
6. RECOMENDACIONES	84
CITAS BIBLIOGRÁFICAS	85
BIBLIOGRAFIA.....	89
ANEXOS.....	91

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Características de algunos Elastómeros.....	5
Cuadro 2. Comparación entre caucho natural y SBR.....	10
Cuadro 3. Plásticos Termoestables.....	23
Cuadro 4. Plásticos Termoplásticos	23
Cuadro 5. Posibilidades para la gestión de neumáticos fuera de uso	26
Cuadro 6. Ensayos a realizar para la caracterización de las láminas impermeables	40

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Datos de los pesos para la fabricación de las láminas impermeables.....	43
Tabla 2. Datos de tracción y alargamiento porcentual para X	43
Tabla 3. Datos de tracción y alargamiento porcentual para Y	44
Tabla 4. Datos de tracción y alargamiento porcentual para Z.....	45
Tabla 5. Datos de permeabilidad para X.....	45
Tabla 6. Datos de permeabilidad para Y	46
Tabla 7. Datos de permeabilidad para Z.....	46
Tabla 8. Datos de dureza Shore A para X	46
Tabla 9. Datos de dureza Shore A para Y	47
Tabla 10. Datos de dureza Shore A para Z.....	48
Tabla 11. Datos de resistencia a la abrasión para X.....	49
Tabla 12. Datos de resistencia a la abrasión para Y	50
Tabla 13. Datos de resistencia a la compresión para X.....	51
Tabla 14. Datos de resistencia a la compresión para Y	52
Tabla 15. Datos de resistencia a la compresión para Z	52
Tabla 16. Datos de densidad de las láminas obtenidas.....	53
Tabla 17. Datos de Flexión de las láminas obtenidas.....	53
Tabla 18. Datos de desgarre para muestras seleccionadas	54
Tabla 19. Datos de envejecimiento acelerado para muestras seleccionadas	55
Tabla 20. Datos agrupados para el cálculo de la mediana.....	58
Tabla 21. Resultados de resistencia a la tracción y alargamiento porcentual	64
Tabla 22. Resultados de impermeabilidad de las láminas	67
Tabla 23. Resultados del grado de Dureza Shore A.....	69
Tabla 24. Resultados del grado abrasivo.....	71
Tabla 25. Resultados de la resistencia a la compresión	72
Tabla 26. Resultados de la densidad de las láminas.....	74
Tabla 27. Resultados de flexión de las láminas.....	75
Tabla 28. Resultados de los ensayos de desgarre para láminas seleccionadas.....	76
Tabla 29. Resultados de envejecimiento acelerado.....	77

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Unidad estructural repetitiva del caucho natural	6
Figura 2. Segmento de una cadena de polímero de caucho natural.....	6
Figura 3. Unidades monómeras del Estireno y Butadieno	7
Figura 4. Polímero del caucho SBR	7
Figura 5. Ilustración esquemática de la vulcanización del caucho.....	9
Figura 6. Obtención de poliéter partiendo de un alcohol trihidroxilado	12
Figura 7. Obtención de un poliéster	13
Figura 8. Reacciones del Isocianato	14
Figura 9. Isocianatos más comunes	14
Figura 10. Bis-isocianato de difenilmetano, MDI polimérico.....	15
Figura 11. Reacción para formar poliuretano.....	16
Figura 12. Ejemplo de mezclador extensivo (blending).....	17
Figura 13. Mezclador intensivo tipo Banbury	18
Figura 14. Mordaza para ensayo de tracción.....	19
Figura 15. Fuerzas implicadas en el ensayo de flexión.....	20
Figura 16. Mordazas y probeta para ensayo de compresión	20
Figura 17. Compuestos que contienen enlaces hidrolizables	28
Figura 18. Hidrólisis de enlaces éster del PLA	29
Figura 19. Polímeros no degradables	30
Figura 20. Diseño Experimental para la caracterización física y mecánica de las láminas con Comercial 1	32
Figura 21. Diseño Experimental para la caracterización física y mecánica de las láminas con Comercial 2	33
Figura 22. Diseño Experimental para la caracterización física y mecánica de las láminas con Comercial 3	34
Figura 23. Ensayos finales de las mejores láminas impermeables.....	35

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Análisis comparativo del ensayo de Resistencia a la Tracción	65
Gráfico 2. Análisis comparativo del ensayo de Alargamiento Porcentual	66
Gráfico 3. Análisis comparativo del ensayo de Permeabilidad al agua	68
Gráfico 4. Análisis comparativo del ensayo de Dureza Shore A	70
Gráfico 5. Análisis comparativo del ensayo de Resistencia a la Abrasión	71
Gráfico 6. Análisis comparativo del ensayo de Resistencia a la Compresión.....	73
Gráfico 7. Análisis comparativo del Ensayo de Densidad para las láminas	74
Gráfico 8. Análisis comparativo del Ensayo de Flexión para las láminas	75
Gráfico 9. Análisis comparativo del Ensayo de Resistencia al Desgarre para láminas seleccionadas.....	76
Gráfico 10. Análisis comparativo del Ensayo de desgarre con Envejecimiento Acelerado para láminas seleccionadas	77
Gráfico 11. Porcentaje de reducción en el envejecimiento acelerado de las láminas seleccionadas.....	78

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Materias primas para elaborar las láminas impermeables	92
ANEXO B. Micrómetro	94
ANEXO C. Equipo para medir Desgarre	95
ANEXO D. Abrasímetro	96
ANEXO E. Durómetro Shore A.....	97
ANEXO F. Equipo para medir Flexión.....	98
ANEXO G. Prueba de Resistencia a la Tracción y Alargamiento Porcentual	99
ANEXO H. Mufla para realizar Envejecimiento Acelerado	100
ANEXO J. Lámina impermeable obtenida a partir de caucho – espuma de poliuretano	101

FABRICACIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABLES A PARTIR DE CAUCHO RECICLADO UTILIZANDO ESPUMA DE POLIURETANO

RESUMEN

Utilización de caucho reciclado de neumáticos usados en mezcla con espuma de poliuretano, producto de la reacción de polioles e isocianatos, para la fabricación de láminas impermeables. Las variables de estudio son: relación caucho – espuma, tamaño de partícula del caucho y tiempo de prensado.

Se hizo reaccionar partículas de caucho de diferentes tamaños y en diferentes proporciones, con poliol e isocianato, manteniendo una agitación constante de 900 rpm por un tiempo de cinco minutos, luego de lo cual se somete a un proceso de prensado entre quince y treinta minutos, para dar como resultado láminas impermeables con un espesor de 6 mm, a las cuales se les realiza diferentes ensayos físico y mecánicos.

Se concluye que las láminas que cumplen de mejor manera con las normas correspondientes fueron: 70% de caucho con un tamaño de partícula de 0,360 - 0,7225 mm y 70% y 75% de caucho con un tamaño de partícula de 0,275 - 0,360 mm, durante un tiempo de prensado de treinta minutos.

PALABRAS CLAVES: / PARTÍCULAS / CAUCHO / POLIURETANO / NEUMÁTICOS / LÁMINAS / IMPERMEABILIZACIÓN / USO DE RESIDUOS SÓLIDOS //

WATERPROOF SHEET MANUFACTURING RUBBER FROM RECYCLED BY USING POLYURETHANE FOAM

ABSTRACT

Use of recycled tire rubber used in mixture with polyurethane foam, the reaction product of polyols and isocyanates for the production of waterproof sheets. The variables studied are: rubber ratio - binder, rubber particle size and pressing time.

Was reacted rubber particles of different sizes and different proportions, polyol and isocyanate, with constant stirring of 900 rpm for a time of five minutes, after which it is subjected to a pressing process between fifteen and thirty minutes , to result waterproof sheets with a thickness of 6 mm, which makes them different physical and mechanical tests.

We conclude that the sheets to better comply with the relevant standards were: 70% rubber with a particle size of 0.360 - 0.7225 mm and 75% and 70% rubber with a particle size of 0.275 - 0.360 mm, for a pressing time of thirty minutes.

KEYWORDS: / PARTICLES / RUBBER / POLYURETHANE / TYRES / WATERPROOF SHEETS / WATERPROOFING / USE OF SOLID WASTE //

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, cada vez son más los automóviles que circulan en nuestro país por la ampliación del parque automotor, lo que genera el aumento incontrolable de neumáticos usados.

Según datos estadísticos se tiene aproximadamente 3,8 millones de neumáticos fuera de uso al año en el Distrito Metropolitano^[1], generando un gran problema relacionado a la ocupación de volumen de almacenamiento y a su lenta degradación (tiempo medio de vida más de 100 años).

Los depósitos a cielo abierto o en bodegas de estos residuos, sin considerar un aislamiento adecuado de acuerdo a la naturaleza de las llantas, representan un peligro potencial para la comunidad pues, pasan a ser una contaminación ambiental, debido a riesgos de generar incendios incontrolables, poniendo en peligro vidas humanas, infraestructura y ecosistema.

Los neumáticos usados apilados inadecuadamente pueden retener agua dando lugar a la multiplicación de roedores e insectos en zonas tropicales, y estos a su vez proliferan enfermedades que afectan a la comunidad como el dengue, paludismo, fiebre amarilla, entre otras.

Los neumáticos están conformados por una mezcla del 14% de caucho natural, 27% de caucho sintético, 28% de negro de humo, 14 – 15% de metales como el acero y 16 – 17% de fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc., en cuanto a su composición química están conformados por: 70 – 83% de carbono, 5 -7,5% de hidrógeno, 1,2 – 1,9% de azufre, 0,1 – 0,8% de color, 1,5% de nitrógeno, 5% de oxígeno, 1,2 – 2,7% de zinc, 5 – 18% de hierro y 5% de otros compuestos^[2], algunos de ellos como el caucho sintético no son biodegradables lo que provoca un problema ambiental.

Ante ésta realidad surge el propósito de darle una utilización posterior mediante el reciclaje, procediéndose a la separación de los componentes de los neumáticos, obteniéndose el caucho que luego es transformado en partículas de diferente tamaño, para emplearse como materia prima para varios usos; entre ellos la elaboración de láminas impermeables utilizando diversos compuestos en proporciones adecuadas como aglomerantes para así obtener láminas que cumplan las características apropiadas para su uso.

En países de Europa y México ya se ha implementado el reciclaje de neumáticos usados con el fin de reducir este tipo de residuos en los vertederos, están siendo fabricadas losetas elásticas a partir de caucho reciclado con resinas poliuretánicas que sirven como antideslizantes; las cuales son colocadas en gimnasios, parques infantiles, salas de juegos entre otros. En nuestro país se está utilizando el caucho reciclado para la elaboración de adoquines de caucho utilizados en la construcción, estos bloques han sido fabricados por la industria FACERQUIM y no se ha tenido una investigación extensa para la elaborar láminas impermeables.

Dadas las características de composición de los neumáticos y su cierta afinidad con la espuma de poliuretano, hace intuir que al incorporarse partículas provenientes de neumáticos usados desintegrados cuyo diámetro de partícula se encuentra en un rango de 0,3 a 4 mm y una relación adecuada de caucho – espuma de poliuretano en peso, se podría llegar a obtener una lámina impermeables que cumpla con especificaciones de calidad.

Para esta investigación se partió del tema de Tesis “CARACTERIZACIÓN DE PARTÍCULAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS USADOS PARA LA ELABORACIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABLES” realizado por Verónica Vélez, también se aplicaron normas ASTM y NTE INEN para cauchos vulcanizados.

Con el fin de llegar a obtener las láminas impermeables se debe conocer la mezcla o composición apropiada de caucho usado – espuma de poliuretano para tener un producto con un espesor que comprenda entre 3 – 8cm; asimismo se debe determinar la velocidad de agitación para obtener una mezcla homogénea y luego formar las láminas, se trabajó con 3 tamaños de partículas de neumáticos desechados variando las proporciones en peso a condiciones ambientales, a todas las láminas elaboradas se realizaron pruebas que incluyen inspección visual, determinación de medidas, evaluación de propiedades físicas y mecánicas.

Las láminas que tuvieron mejores características físicas y mecánicas fueron: 70% y 75% con comercial 1 ($0,275 \leq \bar{d}_p \leq 0,360$ mm) y 70% con comercial 2 ($0,360 \leq \bar{d}_p \leq 0,7225$ mm), porque se tuvo una mejor compactación o aglomeración de las partículas, esto es debido a que a menor tamaño de partícula mayor área interfacial lo que permite que las partículas se agrupen con facilidad y así formar una lámina que sea impermeable, y no permita que absorba agua.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Polímeros

En la naturaleza existen moléculas enormes llamadas macromoléculas. Estas moléculas están formadas por cientos de miles de átomos por lo que sus pesos moleculares son muy elevados.

Los polímeros son un tipo particular de macromolécula, que se caracteriza por tener una unidad que se repite a lo largo de la molécula.

Las pequeñas moléculas que se combinan entre sí mediante un proceso químico, llamado reacción de polimerización, para formar el polímero se denominan monómeros. La unión de todas estas pequeñas moléculas dan lugar a una estructura de constitución repetitiva en el polímero y la unidad que se repite regularmente a lo largo de toda la molécula, se conoce con el nombre de unidad constitucional repetitiva (ucr) o unidad monomérica.

1.1.1. Polímeros naturales: son aquellos que provee la naturaleza que mediante la fabricación se los aplican en los materiales se utilizaran de diversos fines. Por ejemplo la fabricación de las viviendas, indumentarias, herramientas, etc.

También ha sido utilizada la madera y otros forrados por polímeros naturales como fibras vegetales, sedas, cueros, lana, etc.

Uno de los polímeros naturales es las fibras textiles (algodón, el lino, el yute, la madera, el cuero, la seda), son materias primas o recursos naturales, que están formados en un alto porcentaje.

- **Mineral:** el petróleo es la principal materia prima de la que se obtiene la mayoría de los plásticos sintéticos, también se puede obtener a partir del gas natural o de la hulla.
- **Animal:** la caseína (sustancia que se obtiene de la leche), es la materia con la que se obtiene la galatita, material plástico, con el que se fabrica peines, botones, etc.

- **Vegetal:** a partir del látex (producido por ciertos árboles tropicales), se obtienen gomas y cauchos, a partir de la celulosa, es posible obtener celofán y celuloide.

1.1.2. Polímeros sintéticos. se pueden clasificar en tres diferentes tipos de materiales:

- **Los Elastómeros:** Sustancias que poseen la elasticidad que caracteriza al caucho y al igual que este se emplean para fabricar gomas, mangueras o neumáticos.
- **Las Fibras:** Materiales capaces de orientarse para formar filamentos largos y delgados como el hilo. Poseen una gran resistencia a lo largo del eje de orientación, tal como ocurre con el algodón, la lana y la seda. Tienen su principal aplicación en la industria textil.
- **Los Plásticos:** Son polímeros que pueden ser moldeados a presión y transformados en diversos objetos con formas diferentes, o bien, usados como pinturas o recubrimientos de superficies.^[3]

1.2. Elastómeros

El término elastómero se aplica a un material que exhibe un comportamiento elástico parecido al del hule. Cuando un elastómero se somete a estiramiento o flexión, recupera su forma original una vez que se retira la fuerza distorsionadora, siempre que no se haya deformado más allá de cierto límite elástico. Algunos polímeros, como el nylon y los poliésteres, también pueden moldearse en figuras, que al igual que el pelo, son muy largas en relación con su área transversal y no son elásticas. Estas fibras pueden tejerse para formar telas o cordeles y producir ropa, cuerdas para neumáticos y otros objetos útiles.^[4]

Entre los polímeros que son elastómeros se encuentran el poliisopreno o caucho natural, el polibutadieno, el poliisobutileno y los poliuretanos:

Cuadro 1. Características de algunos Elastómeros

NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	USOS
Poliestireno-butadieno-estireno, SBS	Es un caucho duro, con un tipo de copolímero llamado copolímero en bloque. Su cadena principal está constituida por tres segmentos. El primero es una larga cadena de poliestireno, el del medio es una cadena de polibutadieno, y el último es otra larga sección de poliestireno.	Se usa para hacer objetos tales como suelas para zapatos, cubiertas de neumáticos, y otros donde la durabilidad sea un factor importante.
Poliisobutileno	Es especial porque es el único caucho impermeable a los gases, es el único caucho que puede mantener el aire por largos períodos. El poliisobutileno, a veces llamado caucho butilo, y otras veces PIB, es un polímero vinílico. Se hace a partir del monómero isobutileno, por polimerización vinílica catiónica.	Se utiliza para hacer artefactos como cámaras para neumáticos y balones de básquet.
Polibutadieno	Fue uno de los primeros tipos de elastómeros sintéticos, o caucho, en ser inventados. No fue necesario un gran esfuerzo de imaginación para llegar a él, al igual que el poliisopreno, muy similar al caucho natural. Es adecuado para las aplicaciones que requieren exposición a bajas temperaturas. Muchos polímeros pueden llegar a ser quebradizos a bajas temperaturas debido a un fenómeno llamado transición vítrea	Los neumáticos se hacen a menudo con mezclas de polibutadieno y de otras clases de caucho. Las correas, mangueras, juntas y otras piezas de automóvil se hacen de polibutadieno, porque éste tiene mejor resistencia a las bajas temperaturas que otros elastómeros

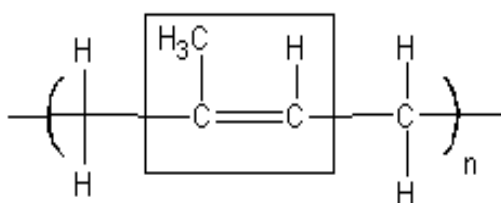
Fuente: Escuela Colombiana de Ingeniería. *Identificación de Plásticos*. p -13. [En línea]. [Fecha de consulta: el 24 de marzo del 2012 a las 08:30]. Disponible en: http://www.escuelaing.edu.co/programas/ing_industrial/laboratorios/MTRL/idplasticosr2.pdf

1.3. Caucho

Sustancia compleja que se encuentra en muchas plantas formando parte del látex. Por síntesis se han elaborado diferentes productos de propiedades físicas parecidas al producto vegetal. En 1839 el estadounidense Charles Goodyear descubrió sus propiedades industriales al mezclar azufre con caucho y calentarlos a más de 100°C. Sus características lo hacen irremplazable en muchas aplicaciones: neumáticos, telas impermeables, amortiguadores de vibración, suspensiones, etc.^[5]

Existen diferentes tipos de cauchos, y estos se pueden clasificar en dos grandes grupos: el caucho natural y el caucho sintético. La principal diferencia entre ambos radica en el origen de las materias primas.

1.3.1. Caucho Natural. Éste se produce a partir de un fluido lácteo llamado látex del árbol *Hevea Brasiliensis* típico de regiones tropicales. La estructura de la goma natural es principalmente cis-poli (1,4-isopreno), un polímero de cadena larga, mezclado con pequeñas cantidades de proteínas, resina, lípidos, sales inorgánicas además de otros componentes, del que se obtiene materiales que a temperatura ambiente son mas duros y rígidos que el caucho natural^[6], es transparente, inodoro y mal conductor de la electricidad y el calor, por eso es utilizado como aislante eléctrico o en la suela de los zapatos. A bajas temperaturas es duro y consistente, y a altas temperaturas es pegajoso y blando.^[7]



Cis poli (1,4- isopreno)

Figura 1. Unidad estructural repetitiva del caucho natural

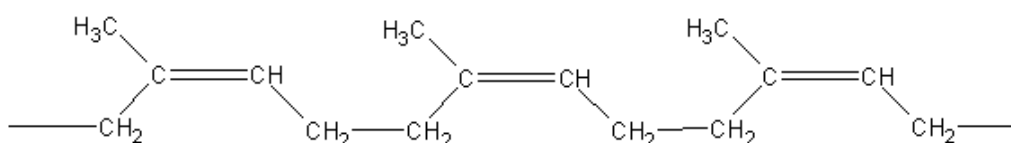


Figura 2. Segmento de una cadena de polímero de caucho natural.

1.3.2. Caucho Sintético. Puede llamarse caucho sintético a toda sustancia elaborada artificialmente que se parezca al caucho natural. Se obtiene por reacciones químicas, conocidas como condensación o polimerización, a partir de determinados hidrocarburos insaturados. Los compuestos básicos del caucho sintético llamados monómeros, tienen una masa molecular relativamente baja y forman moléculas gigantes denominadas polímeros. Después de su fabricación, el caucho sintético se vulcaniza.

El Caucho Estireno – Butadieno más conocido como caucho SBR es un copolímero (polímero formado por la polimerización de una mezcla de dos o más monómeros) del Estireno y el 1,3-Butadieno. Este es el caucho sintético más utilizado a nivel mundial.

1.3.2.1. Estructura del Caucho SBR

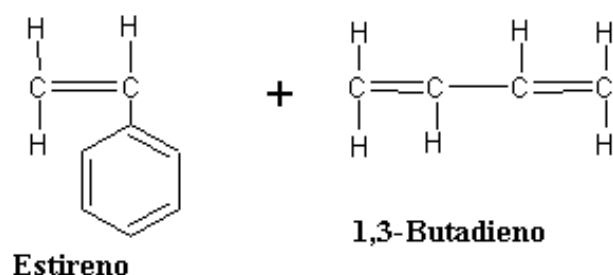


Figura 3. Unidades monómeras del Estireno y Butadieno

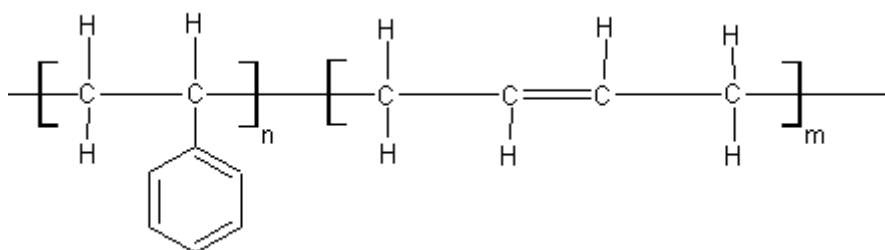


Figura 4. Polímero del caucho SBR

1.3.2.2. Clasificación de los cauchos SBR. De acuerdo con el código del International Institute of Synthetic Rubber Producers (Instituto Internacional de Productores de Goma Sintética, IISRP), los copolímeros de SBR se clasifican en diferentes categorías:

- **SBR serie 1000:** Copolímeros obtenidos por copolimerización en caliente.

- **SBR serie 1500:** Copolímeros obtenidos por copolimerización en frío. Sus propiedades dependen de la temperatura de reacción y del contenido de estireno y emulsificante. La variación de estos parámetros afecta el peso molecular y por lo tanto las propiedades de la mezcla vulcanizada.
- **SBR serie 1700:** SBR 1500 extendida con aceite.
- **SBR series 1600 y 1800:** Se mezcla negro de carbón con goma SBR 1500 durante la producción mediante la incorporación de una dispersión acuosa de negro de carbón con el látex de SBR previamente extendido con aceite. Se obtiene una mezcla maestra cercana al producto final luego de la coagulación y secado.^[8]

1.3.3. Vulcanización del caucho. El proceso de vulcanización es un proceso mediante el cual se calienta el caucho crudo en presencia de azufre, con el fin de volverlo más duro y resistente al calor. Fue descubierto por Charles Goodyear en 1839 por accidente, al volcar un recipiente de azufre en una sartén que contenía látex.

Durante la vulcanización, los polímeros lineales paralelos cercanos constituyen puentes de entrecruzamiento entre sí. El resultado final es que las moléculas elásticas de caucho quedan unidas entre sí a una mayor o menor extensión. Esto forma un caucho más estable, duro, mucho más durable, más resistente al ataque químico y sin perder la elasticidad natural. También transforma la superficie pegajosa del material a una superficie suave que no se adhiere al metal o a los sustratos plásticos.

La vulcanización es un proceso de cura irreversible y debe ser fuertemente contrastado con los procesos termoplásticos que caracterizan el comportamiento de la vasta mayoría de los polímeros modernos. Este proceso irreversible define a los cauchos curados como materiales *termorígidos* (no se derriten con el calor) y los saca de la categoría de los *termoplásticos* (como el polietileno y el polipropileno).

Usualmente el entrecruzamiento químico es realizado con azufre, pero existen otras tecnologías como los sistemas basados en peróxidos. Se suelen usar combinadamente con agentes aceleradores y retardadores.

El azufre es un material raro. Dadas las circunstancias correctas, formará cadenas de sus propios átomos. El carbono y el silicio pueden formar también esas cadenas; el proceso de vulcanización hace uso de este fenómeno. A lo largo de la molécula del caucho, hay un número de sitios que son atractivos para los átomos de azufre, estos son llamados *sitios de cura*.

En cada sitio de cura, un átomo de azufre se puede unir a sí mismo, y a partir de allí la cadena de átomos de azufre puede crecer hasta que alcance el sitio de cura de otra molécula. Estos puentes de azufre son usualmente de 2 a 10 átomos de largo, en contraste con los polímeros más comunes en los que la columna vertebral de carbonos es varias veces más larga.^[9]

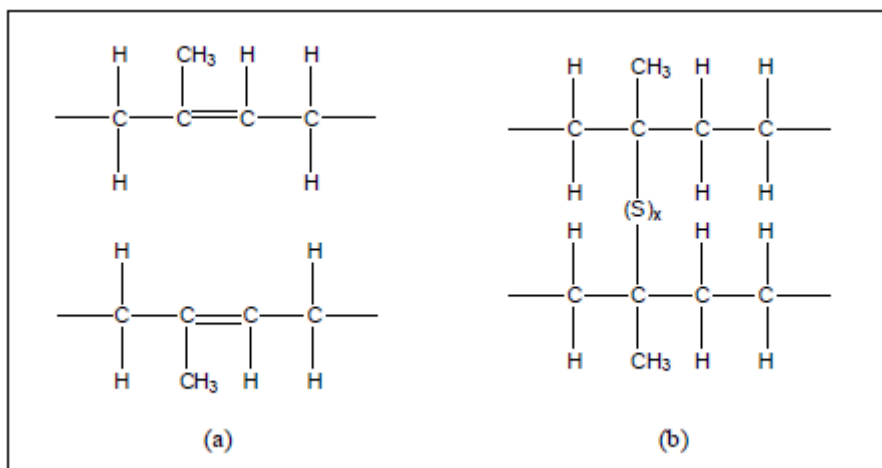


Figura 5. Ilustración esquemática de la vulcanización del caucho

En este proceso átomos de azufre entrecruzan las cadenas cis poli (1,4-isopreno). (a) Cadena de cis poli (1,4-isopreno) antes del entrecruzamiento. (b) Después del entrecruzamiento con azufre o derivados de azufre abriendo los dobles enlaces del esqueleto polimérico.^[10]

1.3.4. Diferencias entre el caucho SBR y caucho natural. A continuación se verá la comparación entre el caucho SBR y el caucho natural:

- SBR es inferior a la goma natural para procesado, resistencia a la tracción y a la rotura, adherencia y calentamiento interno.
- SBR es superior en permeabilidad, envejecimiento, y resistencia al calor y desgaste.
- La vulcanización de SBR requiere menos azufre, pero más acelerador.
- El efecto reforzador del negro de carbón es mucho más pronunciado sobre SBR que sobre goma natural.
- Para uso en neumáticos, SBR es mejor para vehículos de pasajeros, en tanto que la goma natural es preferible para vehículos utilitarios y autobuses.
- Las SBR extendidas con aceite se usan principalmente para fabricación de neumáticos, correas cintas transportadoras, etc.) y suelas de zapatos; las mezclas maestras de SBR se emplean en la producción en masa de cubiertas de neumáticos.^[11]

Cuadro 2. Comparación entre caucho natural y SBR

Propiedades	Caucho Natural	SBR
Rango de Dureza	20-90	40-90
Resistencia a la rotura	Buena	Regular
Resistencia abrasiva	Excelente	Buena
Resistencia a la compresión	Buena	Excelente
Permeabilidad a los gases	Regular	Regular

Fuente: TEXTOS CIENTÍFICOS. *Caucho*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 20 de marzo del 2012 a las 11:34]. Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/caucho/sbr>

1.3.5. Propiedades destacadas del caucho.

1.3.5.1. Dureza y Suavidad. Es una propiedad que cualquiera puede notar simplemente tocando el caucho, pero para determinar exactamente el nivel de dureza, se necesitan unos instrumentos específicos así como unos estándares de referencia.

El caucho sólido tiene una dureza que va desde 20 a 98 Shore A, el 20 representando el punto de suavidad extrema y el 98 constituyendo el punto extrema de dureza.

Todos los tipos de caucho pueden ser preparados de forma que cubran la mayoría de este espectro de durezas. El cálculo exacto de la dureza requerida es de fundamental importancia para que una pieza de caucho funcione correctamente y desarrolle su función (en los casos en los que una determinada deformación se requiere debido al contacto con una superficie de fricción o cuando una resistencia a la abrasión es necesaria).

1.3.5.2. Elasticidad. Es la capacidad para deformarse y volver rápidamente a su estado inicial, lo cual no sólo permite la posibilidad de catapultar, sino también la de proveer una fuerza constante ya sea bajo tensión o bajo compresión.

Todos los tipos de cauchos son naturalmente elásticos pero el grado de elasticidad varía según los tipos, así como su tiempo de vida que puede ser limitado cuando son expuestos a la luz, al ozono, etc.

Algunos tipos especiales de caucho permanecen elásticos durante toda su vida proyectada, pero todos se relajan y pierden su elasticidad dentro de ciertos límites si están sometidos a una deformación constante.

1.3.5.3. Resistencia a la temperatura. Dado que pertenecen principalmente a la familia de los hidrocarburos, el caucho tiene un rango relativamente limitado de resistencia a las temperaturas.

La temperatura de aplicación indica el rango dentro del cual las propiedades del caucho permanecen más o menos inalteradas. El material tiende a endurecerse a temperaturas extremadamente bajas y pueden causar la ruptura del caucho; lo mismo sucede a temperaturas extremadamente altas el material se dañará, incluso se destruirá. La temperatura exacta de funcionamiento debe ser establecida de forma que se elija el material más adecuado para trabajar en esas condiciones.

1.3.5.4. Resistencia climática. Las propiedades de algunos tipos de cauchos específicos pueden permanecer inalteradas indefinidamente cuando se exponen a cualquier tipo de condiciones atmosféricas (calor, frío, humedad, lluvia, sequía); el tipo más adecuado para resistir cualquier tipo de condiciones atmosféricas, incluido el ataque por ozono es el EPDM.

1.3.5.5. Resistencia a ambientes extremos. Todas las sustancias químicas agresivas, ciertos componentes alimentarios, refrigerantes y aceites hidráulicos deben ser considerados para una formulación correcta del caucho y probados para garantizar un servicio de cierre adecuado.

Todos los tipos de caucho sintético que se conocen en la actualidad han sido desarrollados con el objeto de obtener una resistencia mejor a los combustibles y aceites que han caracterizado tan notablemente el siglo XX.

En cuanto a comportamiento frente a los aceites y combustibles, el CR tiene una resistencia moderada, el NBR y la VMQ una resistencia buena mientras el FPM, la FVMQ el ACM y el FFKM tienen una resistencia muy alta.^[12]

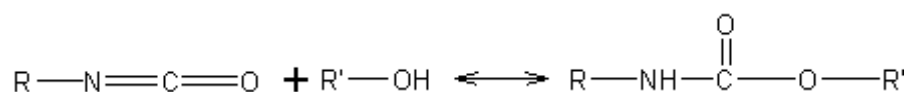
1.4. Poliuretano

El poliuretano es una resina sintética, polímero que se caracteriza por su escasa permeabilidad a los gases, alta resistencia química, excelente aislamiento eléctrico (Manfred Kappset, 2004).

Se obtiene por polimerización de determinados compuestos que contienen el grupo isocianato ($\text{N}=\text{C}=\text{O}$) con compuestos que contengan el grupo hidroxilo ($\text{OH}-\text{R}$).

Los poliuretanos son resinas que van desde las formas duras y aptas para recubrimientos resistentes a los disolventes hasta cauchos sintéticos resistentes a la abrasión y espumas flexibles.

La obtención de los poliuretanos se basa en la gran reactividad del enlace doble del grupo isocianato que adiciona fácilmente compuestos con hidrógenos activos en reacciones de condensación como la siguiente (Becker, 1993):^[13]



1.4.1. Polioles. Los polioles son líquidos viscosos, cuya principal característica química son los grupos hidroxilo (OH), constituidos por oxígeno e hidrógeno. Estos grupos reaccionan con los grupos isocianato del poliisocianato dando lugar a grupos uretano. Cabe distinguir entre poliéterpolioles y poliésterpolioles.

Los poliéterpolioles se obtienen por reacción de alcoholes polihidroxilados (p.ej. glicoles, glicerina, azúcar en bruto) o de aminas (p.ej. etilendiamina) con óxidos de alquileo. Los polioles destinados a la fabricación de espuma rígida se obtienen fundamentalmente del óxido de propileno.

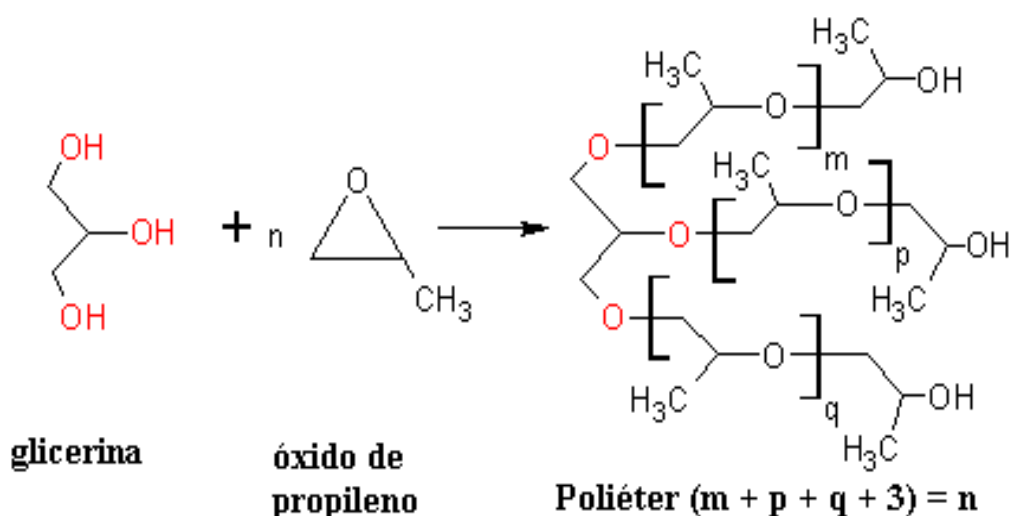


Figura 6. Obtención de poliéter partiendo de un alcohol trihidroxilado

Los poliésterpolioles se obtienen por reacción de ácidos carboxílicos polivalentes (p.ej. ácido ftálico, ácido tereftálico o ácido adípico) con glicoles, glicerina o polialcoholes similares. Se desprende agua y se obtienen polioles con estructuras éster.

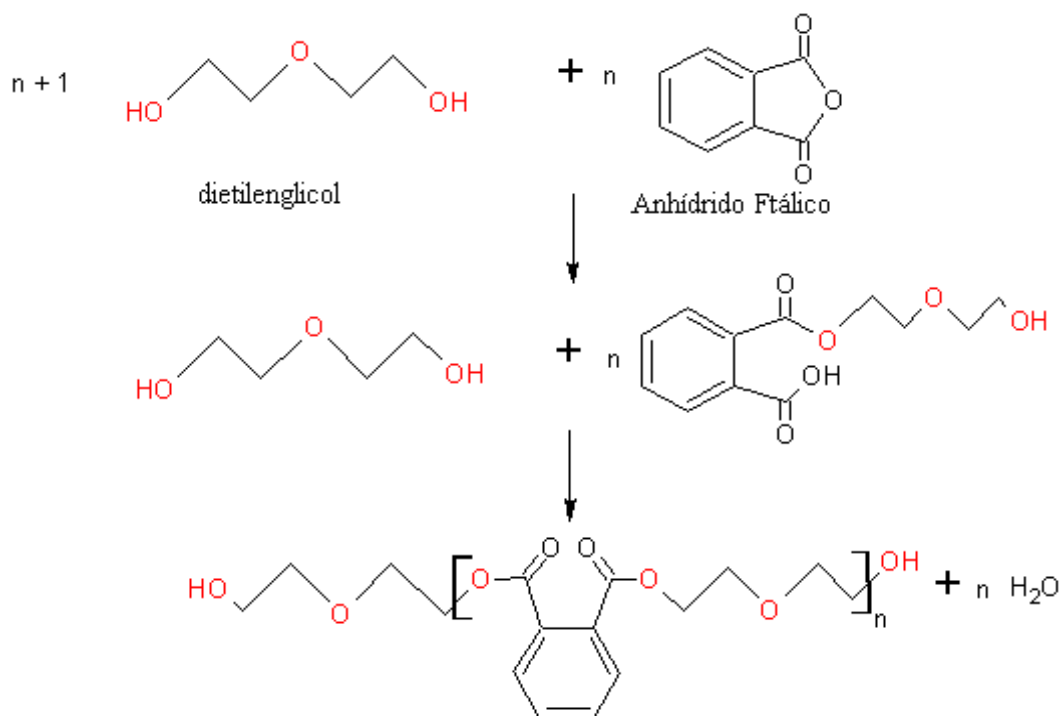


Figura 7. Obtención de un poliéster

Para la utilización de poliéterpolioles y de poliésterpolioles no hay reglas de validez universal. A menudo se combinan ambos tipos, dependiendo la elección de las exigencias a cumplir en cada caso.

Para alcanzar la resistencia a la llama que se exige de la espuma se recomienda a menudo el uso simultáneo de poliésterpolioles aromáticos, p.ej. los basados en ácido ftálico. La alta viscosidad y la baja funcionalidad limitan en muchos casos la posible utilización de los ésterpolioles.^[14]

1.4.2. Isocianatos. Los isocianatos orgánicos (R-N=C=O), son compuestos muy reactivos que pueden reaccionar con alcoholes, aminas o agua según se indica a continuación:

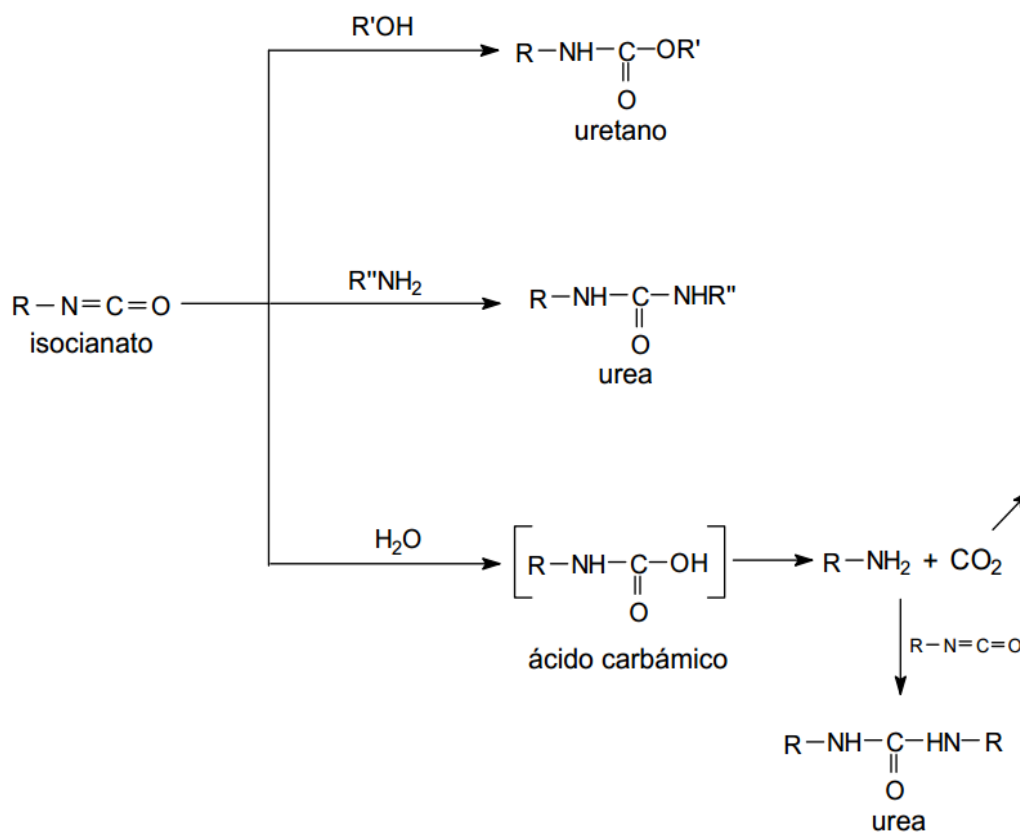


Figura 8. Reacciones del Isocianato

Entre los isocianatos más comunes para la fabricación de poliuretanos están:^[15]

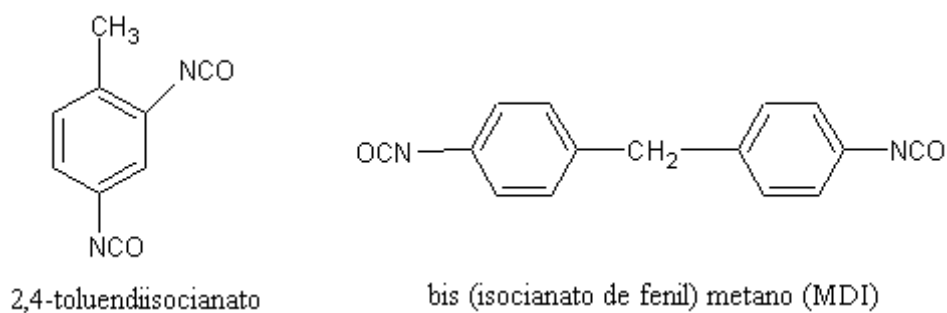


Figura 9. Isocianatos más comunes

Para la fabricación de espumas rígidas de PUR se emplean casi exclusivamente los isocianatos basados en el **MDI** (= diisocianato de difenilmetano).

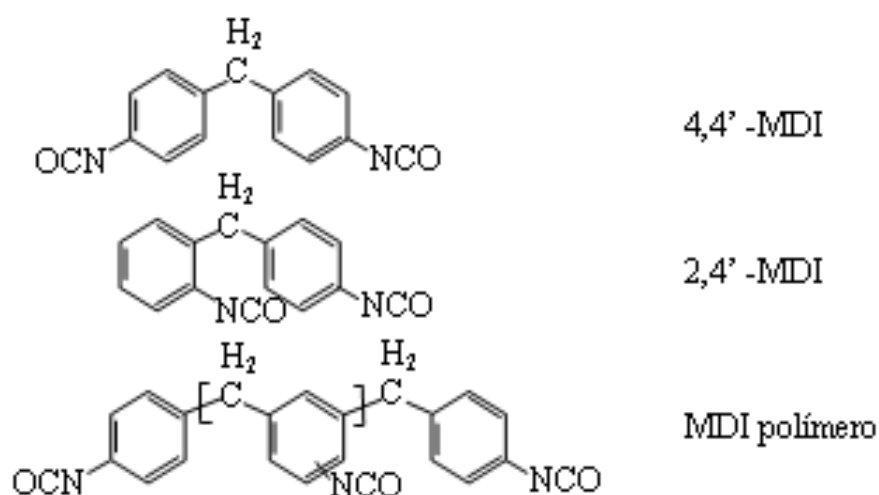


Figura 10. Bis-isocianato de difenilmetano, MDI polimérico

El MDI es rigurosamente bifuncional, es decir, posee 2 grupos NCO, en cambio los componentes PMDI de peso molecular más alto poseen tres o más grupos NCO. El PMDI suele considerarse por tanto como poliisocianato.

En este punto cabe mencionar los *prepolímeros de PMDI*, aunque su importancia sea secundaria en cuanto a la fabricación de espuma rígida de PUR. Se trata de compuestos PMDI en los que una parte de los grupos NCO se ha hecho reaccionar con un poliol. El contenido en NCO restante será, pues, menor que el del PMDI de partida, mientras que la viscosidad será mucho mayor. Con los prepolímeros se pueden soslayar algunos problemas y lograrse determinados efectos: se reduce la cantidad de calor que se libera durante la fabricación de la espuma y se mejora la compatibilidad entre el poliisocianato y el poliol y se regula mejor la estructura de la macromolécula.^[16]

1.4.3. Espuma de Poliuretano. Reacciona un diol con isocianato para formar la espuma de poliuretano.

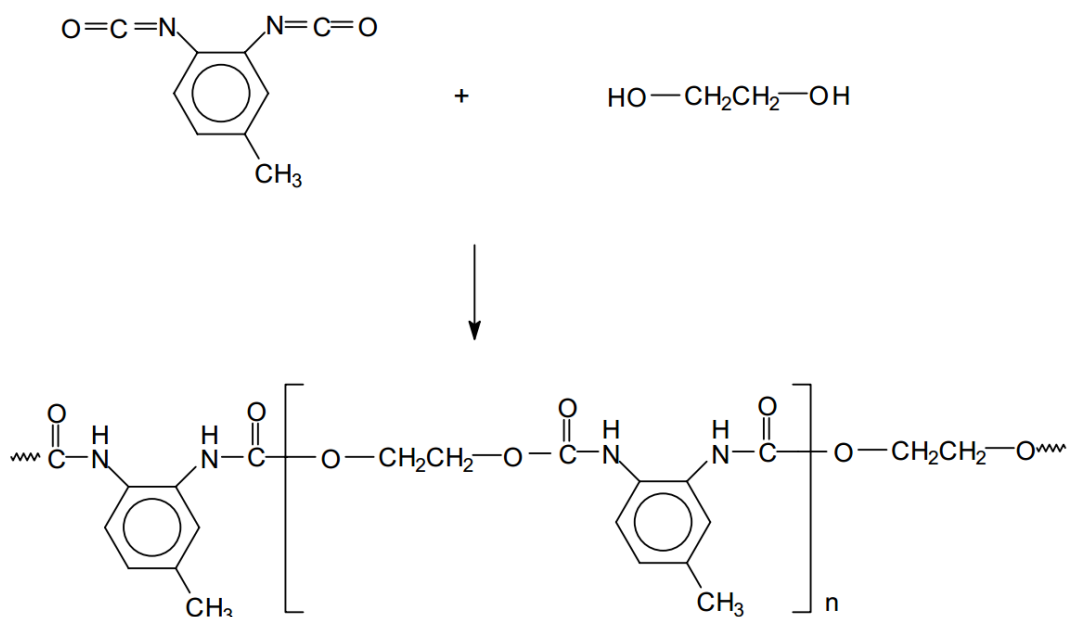


Figura 11. Reacción para formar poliuretano

Es un material plástico con distribución de celdas abiertas formado por una agregación de burbujas, conocido también por el nombre coloquial de gomaespuma. Se forma básicamente por la reacción química de dos compuestos, un polirol y un isocianato, aunque su formulación necesita y admite múltiples variantes y aditivos. Dicha reacción libera dióxido de carbono, gas que va formando las burbujas básicamente, y según el sistema de fabricación se pueden dividir en dos tipos de espumas de poliuretano.

Espumas en caliente, son aquellas que liberan calor durante su reacción, fabricadas en piezas de gran tamaño, destinadas a ser cortadas posteriormente. Generalmente son las más baratas, las más utilizadas y conocidas por el público.

Espumas en frío, son aquellas que apenas liberan calor en la reacción, se utilizan para crear piezas a partir de moldes como rellenos de otros artículos; como aislantes, entre otros.

Normalmente suelen ser de mayor calidad y duración que las espumas en caliente, aunque su coste es bastante mayor.^[17]

1.4.4. Aplicaciones de las Espumas de Poliuretanos. La espuma de poliuretano tiene múltiples usos en el mundo actual, algunos de ellos son:

- a. En colchones como relleno principal o como integrante de los acolchados;
- b. En muebles, en asientos de sofás y sillas, relleno de acolchados, etc.

- c. En la construcción, como aislante térmico o como relleno;
- d. En la industria del automóvil como elemento principal de defensas, asientos, etc.
- e. En muchos artículos como juguetes, prendas de vestir, esponjas, calzados, almohadas, cojines, envases y en general todo tipo de acolchados o rellenos.
- f. En general, el poliuretano flexible tiene aplicaciones como acojinamiento en muebles, calchones, bajo alfombras e interiores de automóviles. También ofrece un buen desempeño como absorbedor de golpes con aplicaciones en empaque y automóviles.^[18]

1.5. Mecanismos de mezclado.

El tipo de equipamiento requerido para producir las mezclas de polímeros y aditivos depende sobre todo de su estado físico: los polímeros se sirven en formas muy diferentes, que van desde gránulos (granzas), polvos, planchas (en el caso del caucho natural), resinas líquidas de peso molecular bajo (en el caso de los termoestables), etc. Además el tipo de mezclador depende del grado de dispersión que se desee alcanzar entre el polímero y los aditivos. Según estos se distinguen dos tipos de mezclado que pueden aparecer como:

- Mezclado extensivo, distributivo o simplemente mezclado (blending)
- Mezclado intensivo o dispersivo (compounding)

El mezclado extensivo consiste en mezclar los componentes de una formulación mediante la agitación de los mismos. De este modo se obtiene una mezcla que en principio podrá ser separada (aunque obviamente en la práctica resultaría difícil). El equipo requerido es un sencillo mezclador en el que todos los ingredientes se añaden a la vez y está provisto de espas o palas que giran a una velocidad moderada y no es necesario aplicar calor durante el proceso (incluso en algunos casos se requiere refrigeración).

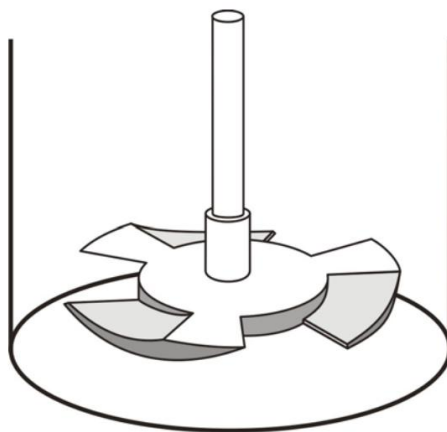


Figura 12. Ejemplo de mezclador extensivo (blending)

El mezclado intensivo implica una dispersión de los diferentes componentes mucho más íntima. Este tipo de mezclado por lo general implica un cambio en el estado físico de los componentes; el componente debe estar en estado fundido durante el mezclado, por lo que se debe aplicar altas temperaturas para conseguir la fusión del polímero y en algunos casos de otros componentes de la mezcla y por lo general se requiere cizallas muy elevadas. Por lo general la mezcla debe ser granulada o troceada antes de introducirla en el proceso de transformación. Los mezcladores de este tipo son lógicamente mucho más complejos que los de tipo extensivo.^[19]

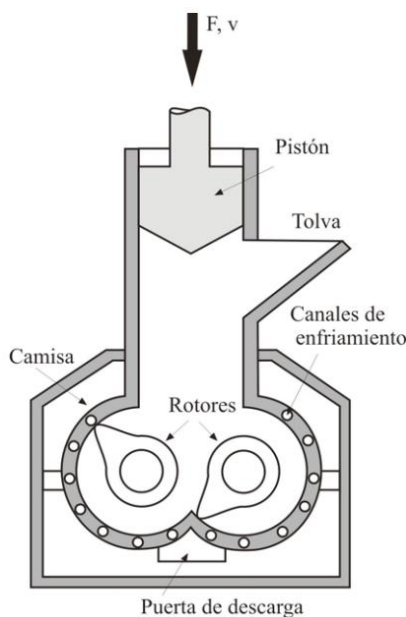


Figura 13. Mezclador intensivo tipo Banbury

1.6. Propiedades Mecánicas de los Polímeros

Los plásticos se encuentran sometidos a diferentes estados de carga en sus distintas aplicaciones, por lo que la selección del material adecuado para cada una de ellas se basa, entre otras consideraciones, en sus propiedades mecánicas. Las propiedades mecánicas de los polímeros dependen, fundamentalmente, de su composición, estructura y condiciones de procesado.

Asimismo, existen otros factores que influyen en las mismas y son, principalmente, el tiempo (velocidad de aplicación de los esfuerzos) y la temperatura.

Precisamente debido al carácter viscoelástico de los plásticos, el comportamiento de estos materiales cuando se les aplica un esfuerzo a velocidad elevada no puede extrapolarse para

aplicaciones en las que la carga se aplica durante periodos prolongados de tiempo. Los ensayos a corto plazo y a largo plazo simulan estas situaciones en el laboratorio.

En los ensayos a largo plazo se estudia la deformación que sufre un material bajo un esfuerzo o deformación constante en función del tiempo y son especialmente adecuados en el diseño de piezas que tienen que sufrir esfuerzos intermitentes.

1.6.1. Ensayos de tracción. Los ensayos de tracción son una medida de la respuesta de un material ante una fuerza que tiende a estirarlo. De estos ensayos se suele obtener información sobre la resistencia a la tracción, elongación y módulo.

Los aparatos para realizar los ensayos de tracción constan de un brazo fijo y uno móvil, ambos dotados con unas mordazas donde se sujetan las probetas. Los brazos se separan a una velocidad constante mientras se determina la carga y la extensión. Las probetas que se emplean en los ensayos de tracción normalmente se preparan mediante inyección o compresión, o también se pueden obtener recortándolas de zonas planas de las piezas ya transformadas.

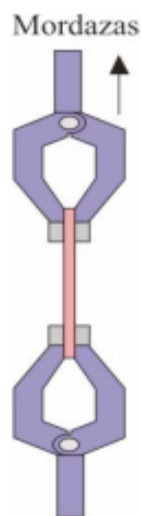


Figura 14. Mordaza para ensayo de tracción

1.6.2. Ensayos de flexión. La resistencia a la flexión de un material es su capacidad para soportar fuerzas aplicadas en su eje longitudinal. Los esfuerzos inducidos por una carga de flexión son realmente una combinación de esfuerzos de tracción, compresión y cizalla.

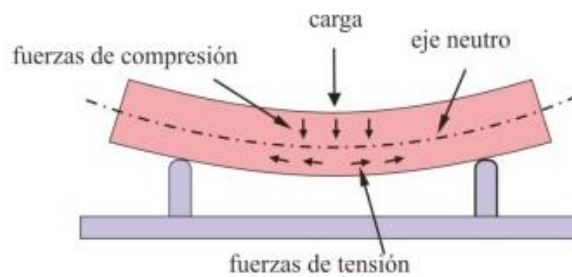


Figura 15. Fuerzas implicadas en el ensayo de flexión

1.6.3. Ensayo de compresión. Los ensayos de compresión se emplean para estudiar el comportamiento del material cuando está sujeto a una carga compresiva a una velocidad de carga relativamente alta y uniforme. A pesar de que en muchas aplicaciones los plásticos están sujetos a cargas de compresión, estos ensayos tienen aplicaciones limitadas. En la práctica las cargas compresivas se suelen aplicar durante periodos prolongados de tiempo, como por ejemplo en el caso de aquellos plásticos que se emplean en juntas, tacos de sillas y mesas, etc. En aquellos polímeros que se rompen en un ensayo de compresión, la resistencia a la compresión tiene un valor definido, sin embargo en algunos casos los polímeros se siguen deformando hasta que forman una lámina muy delgada sin que se produzca una fractura bien definida. En estos casos la resistencia a la compresión obtenida del ensayo no proporciona un valor claro.^[20]

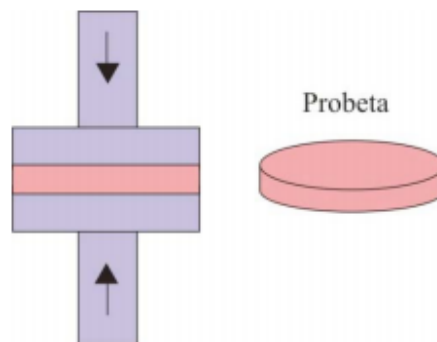


Figura 16. Mordazas y probeta para ensayo de compresión

1.7. Biodegradación

Se define un envase degradable como aquél que está constituido por un material tal que permite mantener completamente su integridad durante su manufactura, vida de estantería y uso por parte del consumidor y que tras desecharse luego de su uso, comienza a cambiar por influencia de agentes del medio ambiente, que lo transforman en sustancias simples o en componentes

menores que eventualmente se diluyen en el ambiente. Si esos agentes son entes biológicos, fundamentalmente microorganismos (bacterias, mohos y levaduras), el material se denomina biodegradable.

Se entiende por degradación de los plásticos en general, un proceso irreversible que produce cambios significativos en su apariencia, en sus propiedades mecánicas y físicas, y en su estructura química, que pueden medirse por medio de ensayos normalizados. La degradación está afectada por las condiciones medioambientales y tiene lugar en el tiempo, comprendiendo una o más etapas.

Según otros autores, por degradación de los polímeros, se entiende en forma específica el fenómeno que involucra la ruptura química de las macromoléculas que lo constituyen.

Las formas más usuales de degradación de los materiales plásticos son las siguientes:

- **Degradación física:** fragmentación mecánica, desintegración.
- **Degradación química:** oxodegradación, fotodegradación, hidrólisis.
- **Degradación enzimática abiótica:** no llevada a cabo por estructuras celulares, sino por enzimas sintetizadas por las mismas, y aisladas de ellas, generalmente en condiciones de laboratorio.
- **Degradación biológica o biodegradación:** llevada a cabo por medio de enzimas, pero mediada por estructuras celulares (microorganismos: bacterias, mohos, levaduras, algas), por medio de enzimas.

La biodegradación es entonces el consumo de sustancias de un sustrato por parte de microorganismos siguiendo vías metabólicas catalizadas por enzimas segregadas por éstos. Por ejemplo, en el caso de biodegradación aeróbica, los productos de degradación son biomasa, dióxido de carbono, agua y minerales. Existen también procesos de biodegradación anaeróbica, siendo los productos usualmente biomasa, metano, agua y minerales.

El grado de biodegradación depende de condiciones ambientales tales como temperatura, humedad, presión parcial de oxígeno (degradación aeróbica o anaeróbica); de la composición de la flora microbiana; y del tipo de sustrato en cuestión y su pH.

Las enzimas microbianas catalizan la ruptura de materiales complejos usados como sustratos (polímeros) en unidades más simples susceptibles de ser asimiladas por los microorganismos, para la formación de biomasa (bioasimilación).^[21]

1.8. Reciclaje

El reciclaje es un proceso físico, químico o mecánico que consiste en someter a un producto ya utilizado a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima o un nuevo producto. También se podría definir como la obtención de materias primas a partir de desechos, introduciéndolos de nuevo en el ciclo de vida y se produce ante la perspectiva del agotamiento de recursos naturales, marco económico y para eliminar de forma eficaz los desechos.

El reciclaje utiliza además la estrategia de las tres “R”.

- **Reducir**, acciones para reducir la producción de objetos susceptibles de convertirse en residuos.
- **Reusar**, acciones que permiten el volver a usar un producto para darle una segunda vida, con el mismo uso u otro diferente.
- **Reciclar**, el conjunto de operaciones de recogida y tratamiento de residuos que permiten reintroducirlos en un ciclo de vida.

Las consecuencias al momento de reciclar son: reducir el volumen de residuos y además de la contaminación que causaría, preservar los recursos naturales, y la principal de todas, las reducciones de los costes vinculados a la producción de bienes.

Es necesario distinguir entre el reúso y el reciclaje, ya que a veces se utilizan equivocadamente como sinónimos. El reciclar se basa en “la recuperación de la fracción útil de un material mediante su extracción y reprocesamiento”. Comparando con la reutilización el reciclaje emplea más energía al transformar el material, pero es preferible a su pérdida total. Se pueden reciclar varios materiales como: la madera, acero, hormigón, entre otros.

Por otro lado el reutilizar como ocurre en el área de la construcción “conlleva la recuperación de elementos constructivos, para utilizarlos en otros edificios. Muy pocos edificios se diseñan o construyen teniendo en cuenta las posibilidades de reutilización; es habitual soldar los elementos de acero en lugar de atornillarlos”. Los materiales que generalmente se reutilizan son: vigas de acero, madera, ladrillo, mampostería, etc.^[22]

1.8.1. Reciclaje de los plásticos. Para conocer el reciclaje de los plásticos, se debe distinguir las diferentes clases que existen según sea su comportamiento con la variación de la temperatura y los disolventes. Así se clasifican en TERMOESTABLES y TERMOPLASTICOS.

- **Termoestables:** Son los plásticos que no reblandecen ni fluyen por mucho que aumente la temperatura, por tanto sufren modificaciones irreversibles por el calor y no pueden fundirse de nuevo; son duros y frágiles.

Cuadro 3. Plásticos Termoestables





TERMOESTABLES	Aplicaciones
Poliuretano (PU)	Recubrimientos, materiales para el automóvil (parachoques, embragues), espumas para colchones.
Resinas de fenol-formaldehído (PF)	Adhesivos, láminas para revestimientos, piezas de automóviles, componentes eléctricos.
Caucho nitrilo-butadieno (NBR)	-
Caucho estireno-butadieno (SBR)	-

- **Termoplásticos:** Son plásticos que cuando son sometidos a calor se reblandecen y fluyen por tanto son moldeables por el calor cuantas veces se quiera sin que sufran alteración química irreversible, al enfriarse vuelve a ser sólido. Tienen estructuras lineales o poco ramificadas, son flexibles y resistentes, son más fáciles de reciclar.^[23]

Cuadro 4. Plásticos Termoplásticos

Termoplásticos			Aplicaciones	Usos después del reciclado
Polietileno tereftalato	PET		Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas, refuerzos neumáticos de coches.	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos
Polietileno alta densidad	PEAD		Botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes y film, láminas y tuberías.	Bolsas industriales, botellas, detergentes, contenedores, tubos

Continuación cuadro 4.

Policloruro de Vinilo	PVC		Marcos de ventanas, tuberías rígidas, revestimientos para suelos, botellas, cables aislantes, tarjetas de crédito, productos de uso sanitario.	Muebles de jardín, tuberías, vallas, contenedores
Polietileno de baja densidad	PEBD		Film adhesivo, bolsas, revestimientos de cubos, recubrimiento contenedores flexibles, tuberías para riego.	Bolsas para residuos e industriales, tubos, contenedores, film uso agrícola, vallado
Polipropileno	PP		Envases para productos alimenticios, cajas, tapones, piezas de automóviles, alfombras y componentes	Cajas múltiples para transporte de envases, sillas, textiles
Poliestireno	PS		Botellas, vasos de yogures, recubrimientos	Aislamiento térmico, cubos de basura, accesorios de oficina

1.8.2. Reciclaje del Caucho. También existen avances en el desarrollo de productos a partir de triturado de caucho, con adición de ligantes de tipo termoplástico o de ligantes tipo poliuterano pueden fabricarse diferentes materiales y objetos como suelas de zapatos, carcasas, láminas aislantes, respaldos, cascos de motorista, etc.

Con ligantes adecuados y con procesos de curado, se fabrican productos moldeados por compresión, productos de gran volumen y de bajos costos. Se pueden colorear, aunque las propiedades de tracción y abrasión son inferiores a los de los productos naturales, pero económicamente es ventajoso.

Puede usarse también en alfombras, aislantes de vehículos o losetas de caucho. Se han usado para materiales de fabricación de tejados, pasos a nivel, cubiertas, masillas, aislantes de vibración.

Otros usos son los deportivos, en campos de juego (césped artificial), suelos de atletismo o pistas de paseo y bicicleta. Las utilidades son infinitas y crecen cada día, como en cables de freno, suelas de zapato, bandas de retención de tráfico, compuestos para navegación o modificaciones del betún.

Otra posible utilización de estos materiales es en componentes para aislamiento acústico. El interés en la utilización de un material como el caucho procedente de los neumáticos de desecho para material absorbente acústico se centra en que requiere, en principio, sólo tratamientos mecánicos de mecanizado y molienda. Estos tratamientos conducen a un producto de granulometría y dosificación acorde con las características de absorción acústica de gran efectividad.

Con el fin de minimizar el volumen que ocupan los neumáticos y hacer bloques compactos, es posible encontrar en el mercado, compresores de neumáticos. Estos equipos permiten compactar hasta 100 neumáticos en bloques macizos, también llamados “balines”, de 30”x50”x60” y de 1 tonelada de peso. Son capaces de procesar hasta cuatro bloques por hora y permiten reducir el volumen de los neumáticos hasta en un 80%. Además reduce el riesgo de incendio, elimina la acumulación de agua al interior de los neumáticos y evita eventuales problemas medio ambientales asociados al almacenamiento. La gran mayoría de estos equipos presentan la ventaja de que son móviles y pueden ser llevados a los distintos focos de recolección gracias a un sistema de remolque. Tienen un alto costo de adquisición ya que deben ser importados y la operación de estos equipos hace poco recomendable su uso en aplicaciones poco rentables.

El caucho granulado es el caucho triturado en pequeñas partículas (menos de 3/8 de pulgada) libre de acero y las fibras que se obtiene del neumático. Este caucho granulado puede ser utilizado para hacer nuevos productos tales como correas y mangueras para automóviles, cañerías de irrigación, barreras de sonido para autopistas y varios productos moldeados. Dependiendo de la aplicación, el caucho de neumáticos puede también ser usado como un aditivo en caucho virgen, plásticos etc., cuando la resistencia estructural no sea necesaria.

Pistas de carrera, caminos para footing y plazas de juegos infantiles pueden ser mejoradas con una capa de miga de caucho. Los espesores varían entre 1/8 y 1/4 de pulgada para el primer caso y de entre 1/4 a 1/2 para el segundo y tercer caso respectivamente. El pequeño tamaño del mercado hace improbable su uso masivo en el corto plazo.

Otros productos que han sido fabricados son colchonetas y pisos antifatiga. Las colchonetas de miga de caucho pueden tener varios usos y aplicaciones especiales, tales como pisos

antideslizantes. Los pisos antifatiga son utilizados por trabajadores que se mantienen de pie durante muchas horas.^[24]

Cuadro 5. Posibilidades para la gestión de neumáticos fuera de uso

GESTIÓN (en orden de prioridad)			Técnica o Proceso	Ejemplos
PREVENCIÓN		PREVENCIÓN, MINIMIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación de neumáticos más duraderos • Empleo de materiales reciclados • Diseño de neumáticos fácilmente reciclables. 	
VALORIZACIÓN	VALORIZACIÓN MATERIAL	REUTILIZACIÓN	Aplicaciones directas (segundos usos)	<ul style="list-style-type: none"> • Protección: circuitos carreras, en postes de seguridad, en barcos, etc. • Construcción de muros de contención • Barreras en muelles costeros. • Barreras acústicas • Drenaje lixiviados CER
			Rencauchado y re-esculturado	<ul style="list-style-type: none"> • Alarga la vida del neumático
		RECICLAJE	Regeneración	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación nuevos neumáticos
			Triturado y separación (obtención polvo de caucho)	<ul style="list-style-type: none"> • Pavimentos carreteras • Pistas deportivas • Alfombrillas
	VALORIZACIÓN ENERGÉTICA	INCINERIZACIÓN, QUEMA, COMBUSTIÓN, PIRÓLISIS,	<p>Los neumáticos son una mezcla de hidrocarburos, metales, azufre, plastificantes y aditivos, se emplean o han empleado en su fabricación hasta 200 componentes diferentes. Las emisiones producidas en la combustión o incineración de neumáticos son las siguientes sustancias: CO, CO₂, SO₂, NO_x, Óxidos de zinc, Xileno, Benceno, Fenoles, Hidrocarburos aromáticos policíclicos, Óxidos de plomo, Hollín, Pireno, Tolueno, Nafteno, Furanos, Benzopireno.</p>	

Continuación cuadro 5.

ELIMINACIÓN	DEPÓSITO EN VERTEDERO CONTROLADO	Triturado y/o depósito en vertedero controlado.	Los vertederos no admitirán NFU a partir del 16 de junio de 2006.
--------------------	---	---	---

Fuente: CASTRO G. *Reutilización, Reciclado y Disposición final de los Neumáticos*. 2007. p. 7. [En línea]. [Fecha de consulta: el 2 de abril del 2012 a las 07:00]. Disponible en: http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/Reutilizacion%20,%20Reciclado%20y%20Disposicion%20final%20de%20Neumatico.pdf.

1.9. Daños que causan al Medio Ambiente

La biodegradación es un proceso mediante el cual los microorganismos del suelo, como bacterias hongos, descomponen en sustancias más sencillas los materiales presentes en él. Por ejemplo, si en el suelo de un bosque cae una manzana, ésta se habrá degradado en aproximadamente una semana, mientras que un envase de plástico tardará 300 años y una llanta tardará más de 100 años en degradarse.^[25]

Los neumáticos son muy utilizados gracias a la gran cantidad de vehículos existentes en nuestro país y el mundo, por ello hay una masiva producción para cubrir ésta demanda.

Los neumáticos son estructuras muy complejas elaboradas con más de 200 componentes, es un residuo compuesto en su mayoría por caucho, basicamente por cauchos sintéticos y naturales, cargas reforzantes (negro de carbono y sílices), antioxidantes, materiales metálicos, textiles (nylon, poliéster, etc.) y otros ingredientes como el azufre necesarios para el proceso de vulcanización del caucho; con dos propiedades que lo hacen muy peculiar; su alto poder calórico, que hace que se queme con facilidad y su estabilidad química, que hace que no se degrade en el ambiente de forma espontánea.^[26]

Es por ello que a los neumáticos se los ha denominado como contaminantes y constituyen un gran problema para el medio ambiente, actualmente se está realizando el reciclaje de los neumáticos con el fin de aprovecharlos y reducir el impacto ambiental, de esta manera se transforma en materia prima y se tiene productos de bajo costo; esto no quiere decir que se termina la vida útil del caucho, más bien se está formando un círculo o ciclo para que el

producto desechado vuelva a ser parte de un reciclaje y lo que se está haciendo es que su tiempo de degradación sea menor.

1.9.1. Polímeros biodegradables de uso comercial. Los polímeros biodegradables pueden clasificarse básicamente en cuatro categorías principales:

- **Polímeros naturales:** como la celulosa, el almidón y las proteínas.
- **Polímeros naturales modificados:** como el acetato de celulosa o los polialcanoatos.
- **Materiales compuestos** que combinan partículas biodegradables (por ejemplo, el almidón, la celulosa regenerada o gomas naturales) con polímeros sintéticos (por ejemplo, mezclas de almidón y poliestireno, o almidón y policaprolactona)
- **Polímeros sintéticos:** como los poliésteres, las poliesteramidas y los poliuretanos, entre otros.

En general, los polímeros sintéticos ofrecen mayores ventajas sobre los materiales naturales y los compuestos porque pueden ser diseñados según sus propiedades requeridas. Además, éstas pueden ser estimadas o predichas teóricamente.^[27]

1.9.2. Estructura química y degradación. La mayoría de los polímeros sintéticos biodegradables contienen enlaces hidrolizables a lo largo de la cadena. Por ejemplo, aquellos que constan de grupos amida, enamina, urea, uretano o éster.

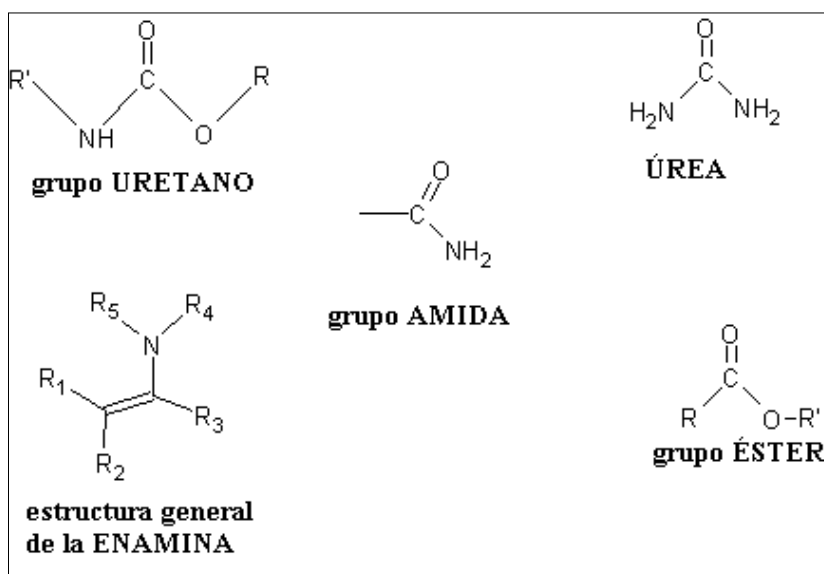


Figura 17. Compuestos que contienen enlaces hidrolizables

Estos enlaces son susceptibles de degradación por microorganismos y enzimas hidrolíticas. Muchas enzimas proteolíticas catalizan específicamente la hidrólisis de los enlaces peptídicos adyacentes a grupos sustituyentes, se piensa, por tanto que la introducción de diferentes grupos laterales, como los benzílicos, fenílicos, hidroxílicos y carboxílicos pueden mejorar notablemente la biodegradabilidad; ya que las reacciones catalizadas por enzimas tienen lugar en medios acuosos, el carácter hidrofílico – hidrofóbico del polímero afecta considerablemente a la biodegradabilidad. Los estudios realizados indican que ésta aumenta en los polímeros que contienen ambos tipos de segmentos hidrofílicos e hidrofóbicos respecto a aquellos en los que predomina claramente un único tipo. La flexibilidad de la cadena polimérica para poder adaptarse al centro activo de la enzima es otro factor, relacionado con la constitución química, que afecta a la biodegradabilidad.^[28]

A diferencia de otros polímeros biodegradables cuya biodegradación en general se basa únicamente en la acción microbiana, en el caso del ácido poliláctico (PLA) el mecanismo de degradación incorpora una etapa de hidrólisis no enzimática.

La presencia de enlaces éster en el PLA permite la reducción gradual del peso molecular por degradación hidrolítica a productos no tóxicos.

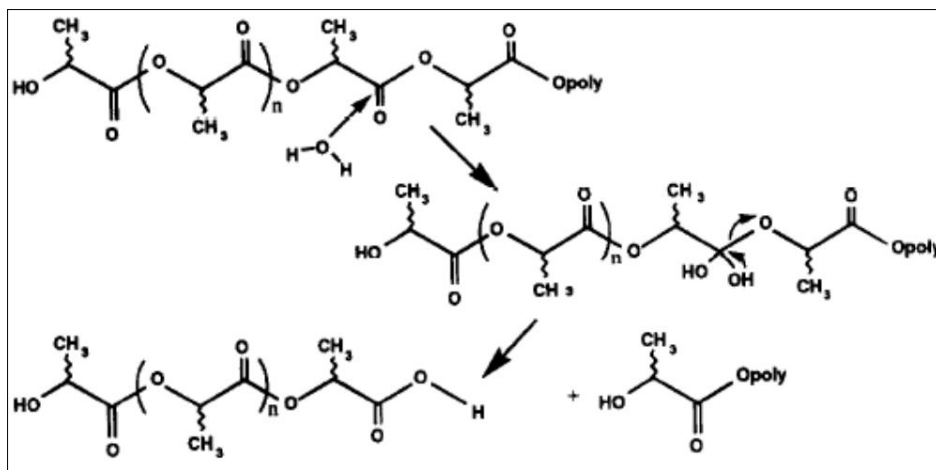


Figura 18. Hidrólisis de enlaces éster del PLA

Los enlaces éster son susceptibles tanto a la hidrólisis química como a la enzimática. Sin embargo, está aceptado que el mecanismo de biodegradación del PLA se inicia por un proceso catalítico de hidrólisis no enzimática de los enlaces éster.^[29]

Por otro lado tenemos los polímeros que no son biodegradables y más usados en todo el mundo, son commodities sintéticos (polietileno, polipropileno, PVC, poliestireno, etc.), básicamente todos los productos provenientes del petróleo.^[30]

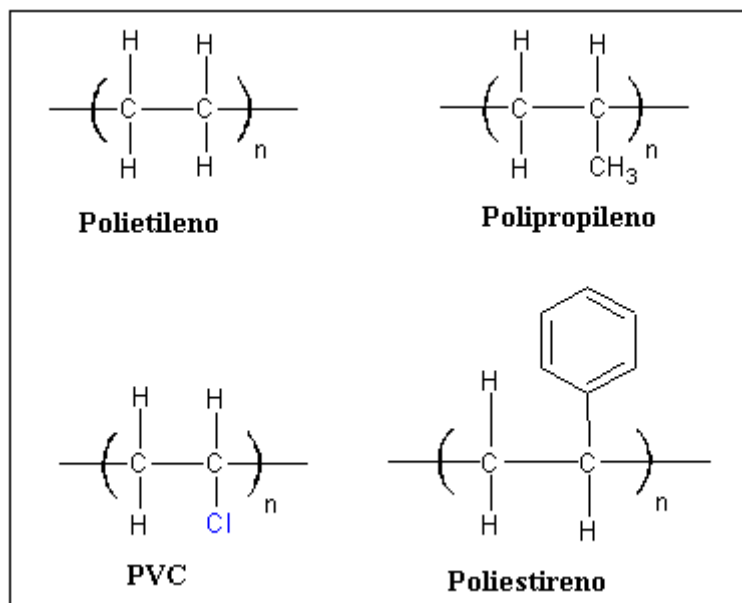


Figura 19. Polímeros no degradables

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Diseño Experimental

Este trabajo está enmarcado dentro de la investigación experimental, además de la investigación bibliográfica, en el cual se propone caracterizar las láminas obtenidas a partir de caucho reciclado con espuma de poliuretano.

La investigación experimental está basada en el análisis de diferentes pruebas estandarizadas por normas nacionales e internacionales.

Se propone realizar el análisis de las láminas con tres tamaños de partículas de caucho a las que llamaremos: comercial 1 ($0,275 \leq \bar{d}_p \leq 0,360$ mm), comercial 2 ($0,360 \leq \bar{d}_p \leq 0,7225$ mm) y comercial 3 ($0,7225 \leq \bar{d}_p \leq 1,015$ mm). Para cada tamaño de partícula se tomó tres porcentajes de sólidos, es decir, 70% en peso de caucho – 30% de espuma de poliuretano, 75% en peso de caucho – 25% de espuma de poliuretano y 80% en peso de caucho – 20% de espuma de poliuretano. Se trabajará con dos velocidades de agitación una baja de 200 RPM y una alta de 900 RPM. Al aplicar una velocidad baja, la mezcla no se homogenizó bien, además el tiempo de agitación es mayor y al incorporar el isocianato en la mezcla caucho – polioliol, vemos que comienza a reaccionar rápidamente y a formarse la espuma de poliuretano sin aglomerar las partículas de caucho, más bien las dispersa.

La mezcla se procederá a prensar tomando en cuenta dos tiempos diferentes uno de 15 minutos y otro de 30 minutos para formar las láminas impermeables. Cada una de estas láminas se analizarán con los siguientes ensayos: resistencia a la compresión, alargamiento porcentual, resistencia a la tracción, permeabilidad al agua, dureza Shore A, abrasión, densidad y flexión. Se realizará comparaciones entre todas las láminas obtenidas y las que tengan mejores resultados se harán pruebas de envejecimiento acelerado y desgarre.

Estos ensayos nos indicarán si son factibles para ser comercializadas.

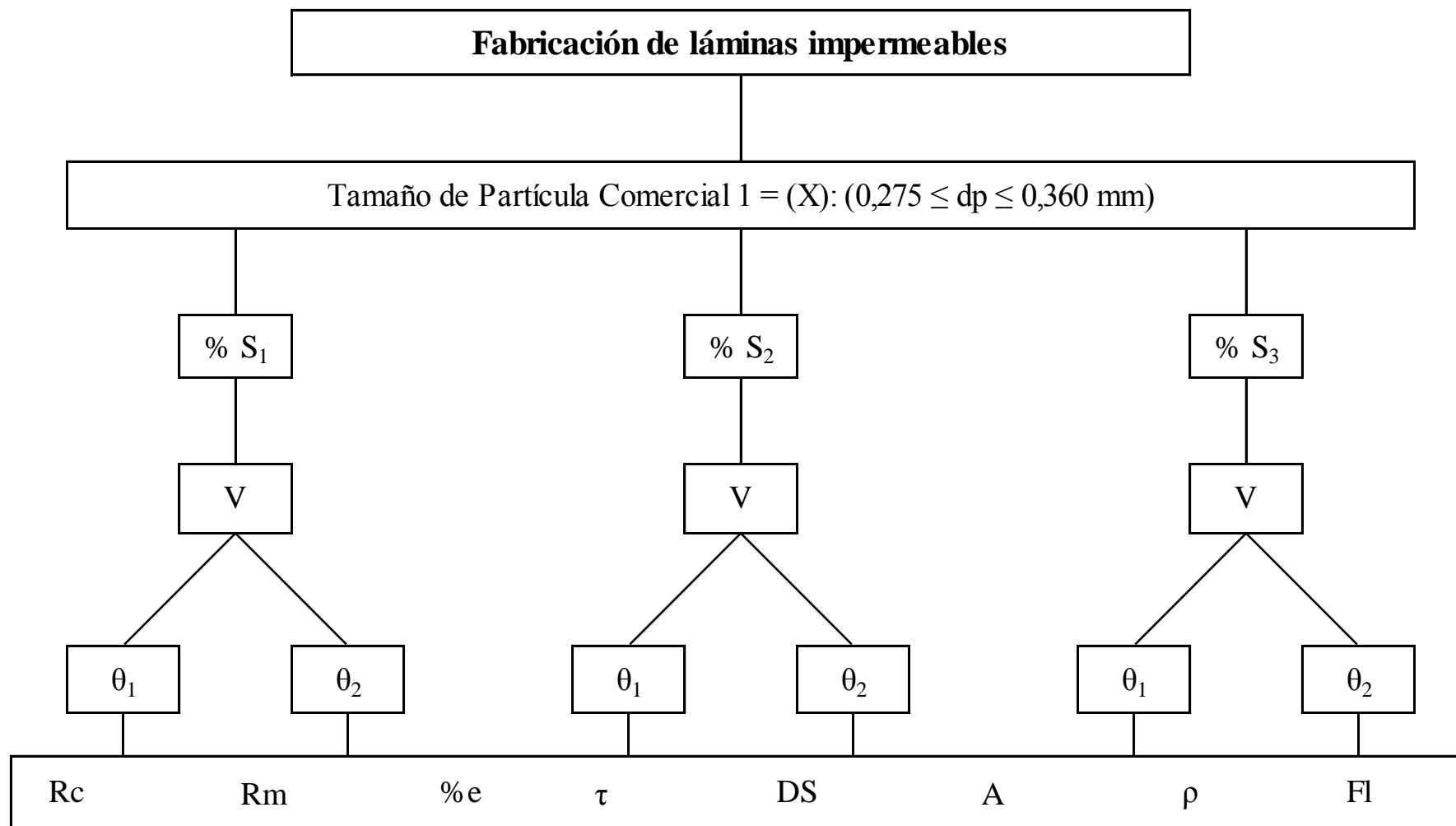


Figura 20. Diseño Experimental para la caracterización física y mecánica de las láminas con Comercial 1

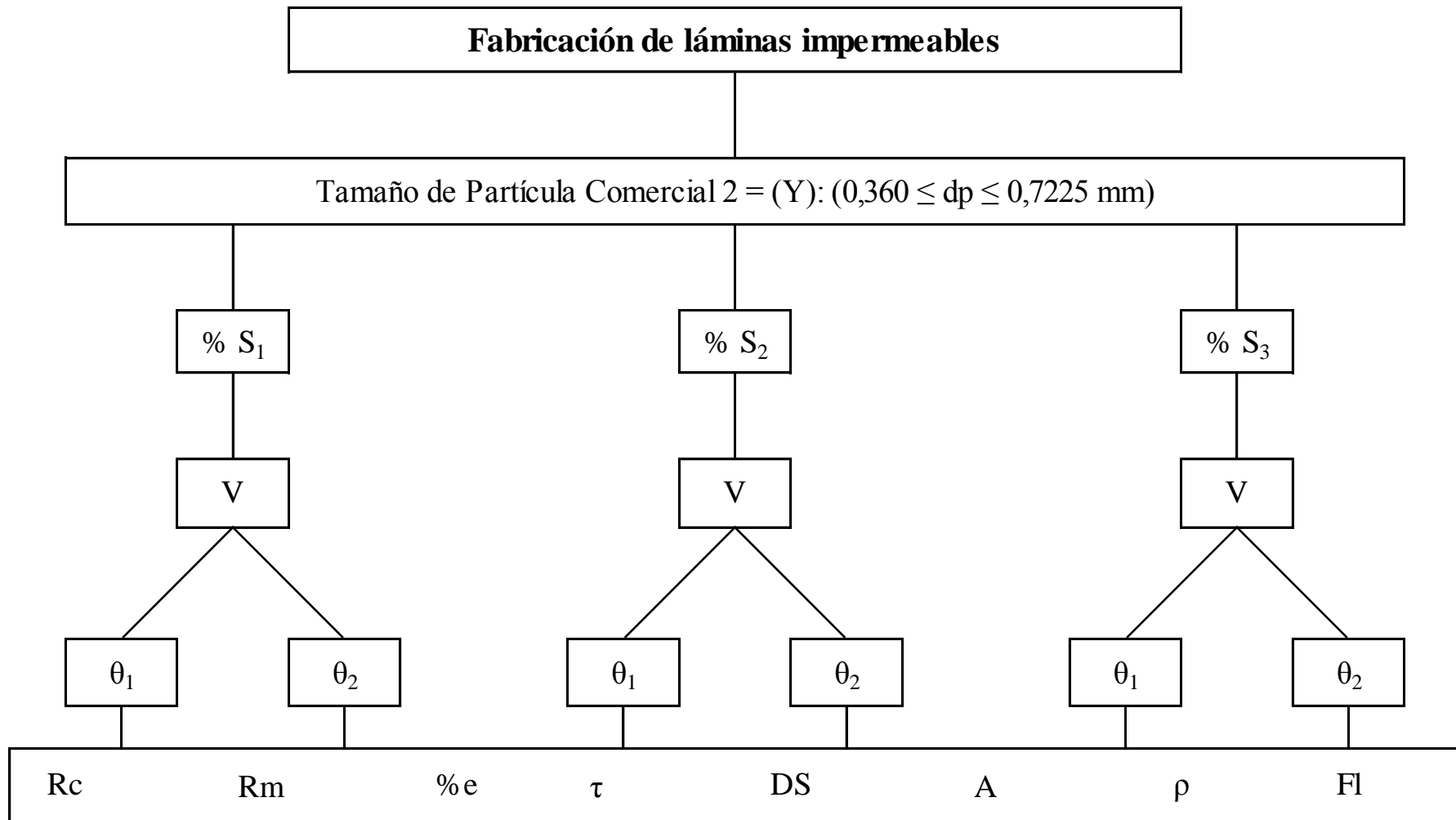


Figura 21. Diseño Experimental para la caracterización física y mecánica de las láminas con Comercial 2

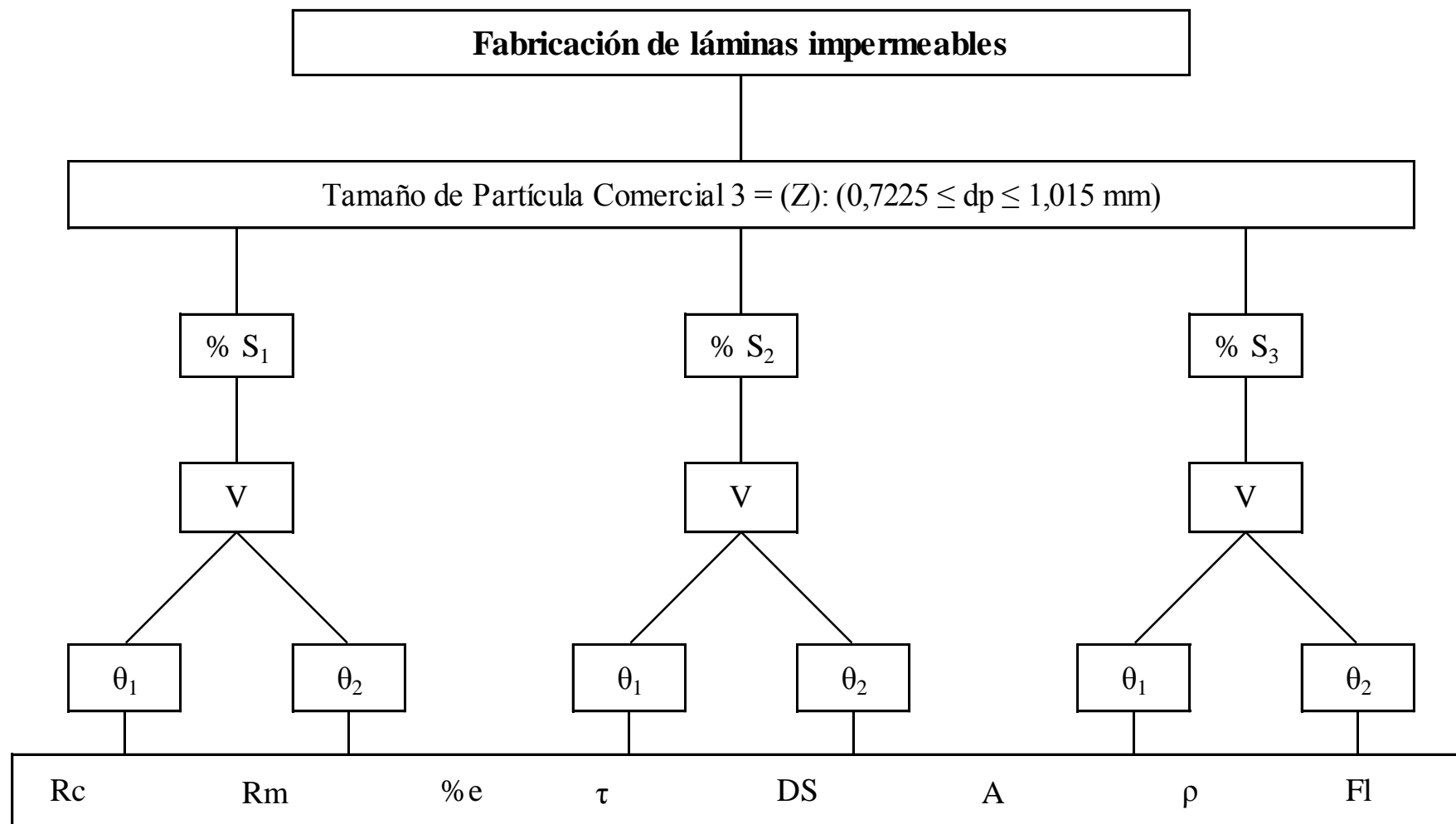


Figura 22. Diseño Experimental para la caracterización física y mecánica de las láminas con Comercial 3

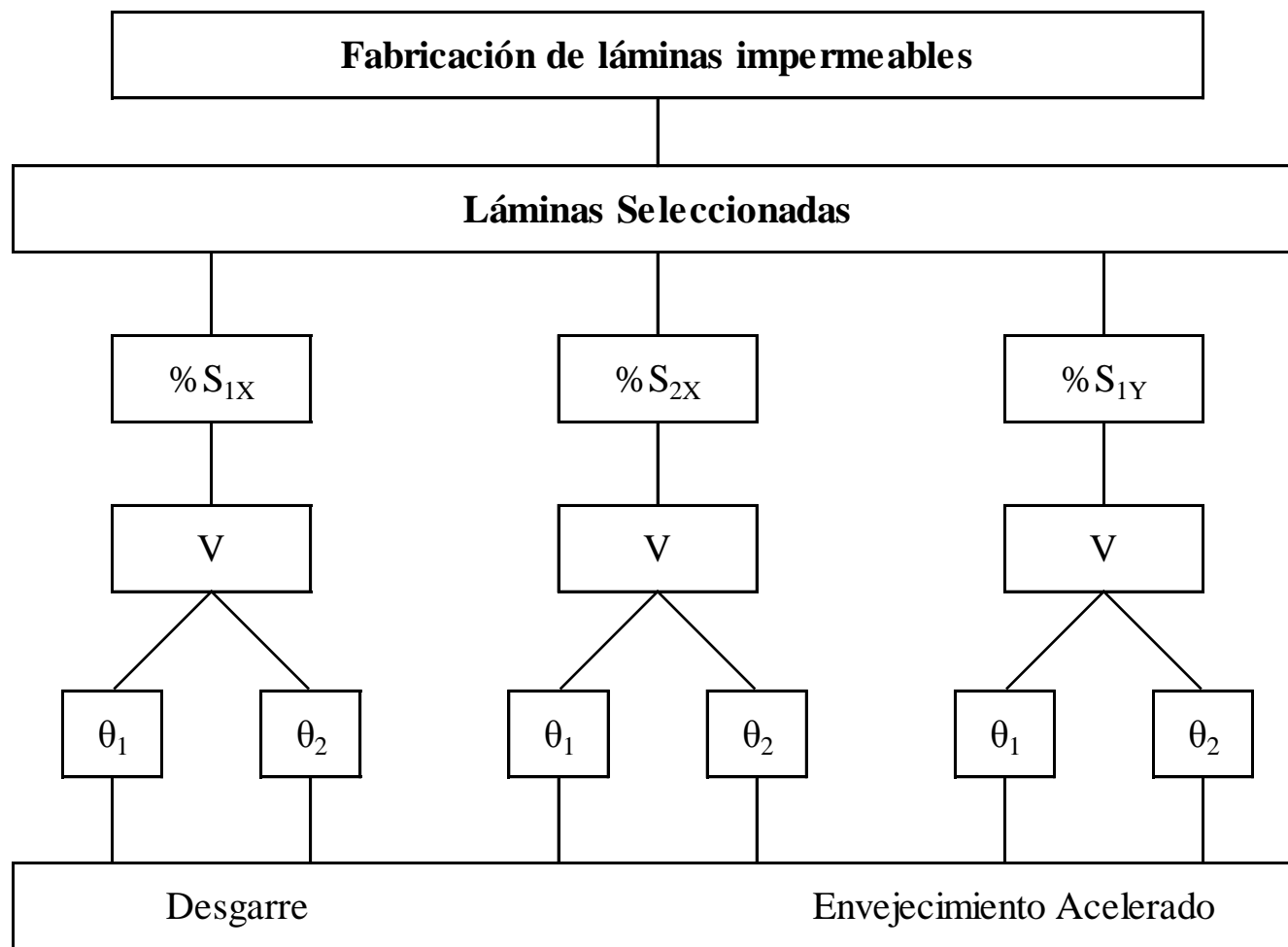


Figura 23. Ensayos finales de las mejores láminas impermeables

2.2. Simbología

- **X** = Tamaño de partícula Comercial 1: $0,275 \leq \bar{d}_p \leq 0,360$ (mm)
- **Y** = Tamaño de partícula Comercial 2: $0,360 \leq \bar{d}_p \leq 0,7225$ (mm)
- **Z** = Tamaño de partícula Comercial 3: $0,7225 \leq \bar{d}_p \leq 1,015$ (mm)
- **%S₁** = 70% de caucho con relación a la mezcla total
- **%S₂** = 75% de caucho con relación a la mezcla total
- **%S₃** = 80% de caucho con relación a la mezcla total
- **V₁** = Velocidad de agitación baja = 200RPM
- **V₂** = Velocidad de agitación alta = 900RPM
- **θ₁** = tiempo de prensado (15 minutos)
- **θ₂** = tiempo de prensado (30 minutos)
- **R_C** = Resistencia a la Compresión
- **R_m** = Resistencia a la Tracción
- **%e** = Alargamiento Porcentual
- **τ** = Permeabilidad al agua
- **DS** = Dureza Shore A
- **A** = Resistencia a la Abrasión
- **ρ** = Densidad
- **FI** = Flexión
- **%S_{1X}** = 70% de caucho con Comercial 1
- **%S_{2X}** = 75% de caucho con Comercial 1
- **%S_{1Y}** = 70% de caucho con Comercial 2
- **Desgarre** = Resistencia al desgarre
- **Envejecimiento Acelerado** = Ensayo de envejecimiento acelerado

2.3. Procedimientos

2.3.1. *Proceso de fabricación de una lámina.*

- a. Pesar 500 g de caucho usando una balanza analítica.
- b. Colocar aceite vegetal en el vaso de precipitación para evitar que se adhiera la mezcla al recipiente.
- c. Colocar 90 ml de poliol a la muestra de caucho y mezclar a velocidad constante hasta que se homogenice, es decir, por 3 minutos aproximadamente.

- d. Inmediatamente añadir 60 ml de diisocianato de tolueno a la mezcla y seguir agitando hasta que esté totalmente homogénea.
- e. Poner la mezcla en un molde previamente engrasado, esparcirla y prensarla hasta obtener la lámina.
- f. Se deja secar en el molde de 15 a 30 minutos y se desmolda.
- g. Finalmente se deja secar por 70 minutos a condiciones ambientales y se obtiene la lámina impermeable.

2.3.2. Ensayo de resistencia a la compresión

- a. *Medición del espesor original.* Medir el espesor original de la probeta con una precisión de 0,02 mm. Colocar la probeta sobre el yunque del micrómetro de modo que el pie indique el espesor en la parte central de las caras superior e inferior.
- b. *Aplicación de la fuerza de compresión.* Montar las probetas en el dispositivo de compresión, con mucho cuidado para colocarlos exactamente en el centro de las placas para impedir que se inclinen. Ir ajustando las turcas y los tornillos lo suficiente para mantener las deflexiones iniciales de la probeta. Aplicar una fuerza externa sobre las placas.
- c. *Tiempo y temperatura de ensayo.* Dejar el ensayo dentro de un horno por 22 horas a una temperatura de $70^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ con circulación de aire seco. Sacar del horno y dejar que se enfríe.
- d. *Periodo de enfriamiento.* Mientras se enfría, se deja descansar las probetas sobre una Cuadro de madera o sobre una superficie que no sea conductora de calor por 30 minutos antes de hacer la medición del espesor final. El enfriamiento debe ser en un ambiente controlado en el laboratorio con una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $50\% \pm 5\%$.
- e. *Medición del espesor final.* Medir el espesor final con ayuda del micrómetro.

2.3.3. Ensayo de resistencia a la tracción y alargamiento porcentual

- a. Las probetas deben ser colocadas en el centro con respecto a las mordazas.
- b. Marcar las probetas en una distancia de 100mm (de mordaza a mordaza).
- c. Sujetar la probeta con las mordazas, de modo que automáticamente aumenten la presión sobre las partes de sujeción, a medida que se aumenta la tensión sobre la probeta.
- d. Detener el equipo en el momento en que la probeta se rompa. Tomar el valor de la carga que soportó la probeta, está dado en kg.
- e. Con ayuda de un pie de rey medir el ancho y espesor de la probeta para determinar el área transversal.

2.3.4. Ensayo de permeabilidad al agua

- a. Pesar la probeta con ayuda de una balanza analítica, con una precisión de 0,0001g; así se tendrá el peso inicial de la probeta.
- b. Sumergir la probeta en un recipiente con agua.
- c. Al cabo de 30 días retirar la probeta del agua y pesar, el cual será el peso final.

2.3.5. Ensayo de dureza Shore A

- a. Hacer una probeta con un espesor mínimo de 6 mm.
- b. Colocar la probeta sobre una superficie dura y horizontal.
- c. Mantener el durómetro en una posición vertical, por lo menos a 12mm de la probeta. Aplicar una presión sobre la probeta lo más rápido posible, manteniendo el pie paralelo a la superficie de la probeta.
- d. Después de que el prensado esta en firme contacto con la probeta, la lectura de la escala debe ser tomada dentro de un segundo o después de un periodo de tiempo acordado entre el proveedor y el usuario.
- e. La lectura de la dureza puede disminuir progresivamente con el tiempo de retardo.
- f. Hacer una medición de tres o cinco puntos distribuidos sobre la probeta, para sacar una mediana de las mediciones tomadas y así obtener el valor de la dureza.

2.3.6. Ensayo de resistencia a la abrasión

- a. Pesar cada probeta en una balanza analítica, con una precisión de 0,01 g.
- b. Colocar la probeta en el portamuestras, de tal manera que sobre salga unos $2,0 \pm 0,2$ mm solamente.
- c. Fijar el brazo articulado con el portamuestras, de manera que la probeta quede en el inicio del recorrido.
- d. Accionar el motor y comenzar la corrida. Para completar los 40 m, debe hacer el recorrido de ida y vuelta. En nuestro caso se hará el recorrido de ida, es decir, 20 m.
- e. Cuando termine el recorrido, retire la probeta, limpiarla y determinar la nueva masa.
- f. Determinar la densidad de cada probeta.
- g. Realizar los cálculos respectivos.
- h. Efectuar 3 ensayos de cada lote para obtener un valor promedio.

2.3.7. Ensayo de densidad

- a. Pesar la probeta en aire en el densímetro digital, con una precisión de 0,01 g.
- b. Levantar la tapa del densímetro y sumergir la probeta en el agua.
- c. Tomar la lectura correspondiente.

2.3.8. Ensayo de flexión

- a. Hacer una probeta con un espesor mínimo de 6 mm.
- b. Sujetar la probeta a ensayar en las mordazas de la máquina de prueba.
- c. Aplicar una carga en la mordaza superior con una velocidad constante para que la probeta se vaya doblando, la cual marcará su recorrido en ciclos, la probeta tiene que llegar a romperse.

2.3.9. Ensayo de desgarre

- a. Sujetar la probeta a ensayar en las mordazas de la máquina de prueba, la probeta deberá estar en el centro y en línea con dirección a la aplicación de la carga.
- b. Aplicar en la mordaza superior una carga de 20 cm/min, después de la rotura de la probeta tomar el valor que indica en el equipo, tenga en cuenta que la carga está dada en kgf.

2.3.10. Ensayo de envejecimiento acelerado

- a. Colocar las probetas para envejecimiento en el horno después de que ha sido precalentado a una temperatura de 70°C.
- b. Tomar el tiempo desde que se ingresan las probetas al horno, esto debe ser por 48 horas.
- c. Después de terminado el tiempo, se retira las probetas del horno y se deja enfriar sobre una superficie plana a temperatura ambiente por 16 horas antes de realizar el ensayo de desgarre.

2.4. Equipos y Materiales

- Balanza (R: 0 – 1kg) ($Ap \pm 0,01g$)
- Balanza Analítica (R: 0-250 g) ($Ap \pm 0,0001g$)
- Vaso de Precipitación (V:250ml) ($Ap \pm 50ml$)
- Vaso de Precipitación (V:100ml) ($Ap \pm 10ml$)
- Jeringuillas (R: 0 – 10ml) ($Ap \pm 0,2ml$)
- Jeringuillas (R: 0 – 5ml) ($Ap \pm 0,5ml$)

- Moldes Metálicos
- Espátula
- Agitador (R: 0 – 1200rpm)
- Prensa Hidráulica (R: 0 – 3Ton)
- Durómetro Shore A (R: 0 – 100° Shore A) ($A_p \pm 2^\circ$ Shore A)
- Equipo para desgarre ($A_p \pm 0,01 \text{ kgf}$)
- Estufa (R: 0 – 200°C) ($A_p \pm 1^\circ \text{C}$)
- Micrómetro (R: 0 – 20mm) ($A_p \pm 0,01 \text{ mm}$)
- Pie de rey (R: 0 – 150mm) ($A_p \pm 0,05 \text{ mm}$)
- Densímetro digital ($A_p \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$)
- Equipo de Tracción ($A_p \pm 10 \text{ kg}$)
- Equipo para pruebas de Flexión ($A_p \pm 1$ ciclo)
- Equipo para pruebas de Compresión ($A_p \pm 1 \text{ kg}$)

2.5. Sustancias y Reactivos

- Polioli
- Diisocianato de Tolueno $[\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_3(\text{NCO})_2]$
- Muestras de Partículas de Caucho:
 - Comercial 1 = (X): $0,275 \leq \bar{d}_p \leq 0,360 \text{ (mm)}$
 - Comercial 2 = (Y): $0,360 \leq \bar{d}_p \leq 0,7225 \text{ (mm)}$
 - Comercial 3 = (Z): $0,7225 \leq \bar{d}_p \leq 1,015 \text{ (mm)}$
- Aceite Vegetal
- Agua $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$

2.6. Caracterización física y mecánica de las láminas impermeables

Cuadro 6. Ensayos a realizar para la caracterización de las láminas impermeables

ENSAYO	NOMBRE DEL ENSAYO
INEN 1165	Determinación de la Resistencia a la Tracción y del Alargamiento Porcentual.
ASTM D395	Standard Methods of Test for Compression Set of Vulcanized Rubber.
ASTM D2240	Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness.

Continuación cuadro 6.

INEN 1924	Calzado de Seguridad. Determinación de la Resistencia a la Abrasión de la Suela.
ASTM D1052	Standard Test Method for Measuring Rubber Deterioration-Cut Growth Using Ross Flexing Apparatus.
ASTM D624	Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers.
ASTM D573	Standard Test Method for Rubber – Deterioration in an Air Oven.
ASTM D792	Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement.
-	Permeabilidad al agua.

2.7. Significado de los ensayos realizados

2.7.1. Determinación de la resistencia a la tracción y del alargamiento porcentual. INEN 1165. Este método de ensayo permite determinar la resistencia a la tracción y el alargamiento porcentual de los cauchos vulcanizados, se aplica una fuerza de tracción a una probeta normalizada hasta producir la ruptura de la misma.^[31]

2.7.2. Standard Methods of Test for Compression Set of Vulcanized Rubber. ASTM D395. Entre las pruebas estáticas está la de deformación por compresión, en la cual la muestra es comprimida entre dos placas planas durante un tiempo prescrito y a una temperatura dada, después de lo cual se retira la fuerza de compresión, se deja que la muestra se recobre durante cierto tiempo, se mide la altura del ejemplar y se registra la altura no recobrada o de deformación permanente.^[32]

2.7.3. Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness. ASTM D2240. Se basa en la penetración de un dispositivo llamado durómetro, la dureza de penetración es inversamente proporcional a la penetración y es dependiente del módulo elástico y el comportamiento viscoelástico del material.^[33]

2.7.4. Calzado de Seguridad. Determinación de la Resistencia a la Abrasión de la Suela. INEN 1924. Determina la resistencia a la abrasión del caucho con un abrasímetro que gira con un cilindro de esmeril, se mide el espesor inicial y final.^[34]

2.7.5. Standard Test Method for Measuring Rubber Deterioration-Cut Growth Using Ross Flexing Apparatus. ASTM D1052. Este método es especialmente para un control de calidad y fines específicos donde la carga es aplicada en su eje longitudinal, las propiedades de flexión pueden variar por las condiciones ambientales y el espesor de la muestra utilizando el aparato de flexión.^[35]

2.7.6. Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers. ASTM D624. Este ensayo nos permite medir la acción de la resistencia al desgarro, ésta puede ser influenciada en gran medida por la anisotropía inducida por el estrés (fibrado mecánico), distribución de la tensión, la velocidad de la deformación y el tamaño de la probeta. Los resultados deben ser considerados bajo condiciones normalizadas y puede que no tengan ninguna relación directa con el rendimiento del servicio.^[36]

2.7.7. Standard Test Method for Rubber – Deterioration in an Air Oven. ASTM D 573. Este método trata de evaluar ciertas características de las muestras de caucho bajo condiciones aceleradas, los resultados de este ensayo no pueden dar valores certeros de acuerdo al uso que se les vaya a dar a las láminas.^[37]

2.7.8. Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement. ASTM D792. Este método nos ayuda a determinar la densidad del caucho mediante la sumersión de un sólido en agua.^[38]

2.7.9. Permeabilidad al agua. Puesto que esta prueba pretende determinar si sufre daño al estar expuesto a lluvias o agua que se derrama sobre la muestra, se deja la muestra sumergida en agua durante 30 días y luego se pesa la muestra para evaluar si absorbió agua.^[39]

2.8. Datos de los ensayos

2.8.1. Datos de los pesos para la fabricación de las láminas impermeables

Tabla 1. Datos de los pesos para la fabricación de las láminas impermeables

Tamaño	m _{caucho} g	V _{isocianato} ml	V _{poliol} ml	%p caucho
X	62,16	9,00	13,50	70
	69,27	7,80	11,70	75
	75,76	6,40	9,60	80
Y	73,22	10,60	15,90	70
	79,92	9,00	13,50	75
	87,60	7,40	11,10	80
Z	84,26	12,20	18,30	70
	94,11	10,60	15,90	75
	104,20	8,80	13,20	80

2.8.2. Ensayos de tracción y alargamiento porcentual

Tabla 2. Datos de tracción y alargamiento porcentual para X

Nº	θ, min	%S	Carga, kg	Ancho, mm	Espesor, mm	Lo, mm	L, mm
1	15	70	170	60,35	4,30	100	167
2			180	60,10	4,05	100	175
3			170	59,95	4,10	100	168
1		75	130	59,95	4,25	100	125
2			140	59,90	4,55	100	137
3			150	60,15	4,15	100	146
1		80	140	60,05	5,05	100	134
2			130	59,45	4,70	100	123
3			130	60,00	5,15	100	126

Continuación tabla 2.

1	30	70	180	60,25	4,20	100	178
2			170	59,40	3,95	100	171
3			170	60,05	4,15	100	173
1		75	150	59,80	4,65	100	153
2			130	59,95	4,85	100	135
3			140	60,05	3,85	100	146
1		80	130	59,60	5,50	100	131
2			140	59,25	4,95	100	142
3			130	59,85	5,10	100	135

Tabla 3. Datos de tracción y alargamiento porcentual para Y

Nº	θ, min	%S	Carga, kg	Ancho, mm	Espesor, mm	Lo, mm	L, mm
1	15	70	150	59,60	3,75	100	149
2			150	59,75	3,90	100	152
3			140	59,75	3,65	100	138
1		75	120	59,70	3,95	100	117
2			130	59,80	4,00	100	125
3			130	59,80	4,10	100	122
1		80	110	59,80	4,10	100	110
2			120	59,75	4,00	100	121
3			110	59,70	4,05	100	109
1	30	70	160	59,70	3,95	100	161
2			150	59,75	4,00	100	163
3			140	59,75	4,15	100	156
1		75	130	60,15	4,25	100	147
2			130	60,25	4,20	100	141
3			120	59,95	4,20	100	138
1		80	120	59,85	3,55	100	131
2			110	60,05	3,90	100	125
3			120	60,10	3,85	100	126

Tabla 4. Datos de tracción y alargamiento porcentual para Z

Nº	θ, min	%S	Carga, kg	Ancho, mm	Espesor, mm	Lo, mm	L, mm
1	15	70	140	59,95	6,00	100	135
2			140	60,30	5,90	100	133
3			130	60,15	5,60	100	125
1		75	130	60,50	5,80	100	124
2			130	60,00	5,85	100	126
3			140	60,05	6,00	100	132
1		80	110	59,80	5,25	100	105
2			130	60,20	5,40	100	120
3			120	60,50	5,20	100	112
1	30	70	140	60,30	5,80	100	142
2			130	60,25	5,35	100	133
3			140	60,05	5,10	100	140
1		75	140	60,10	5,70	100	137
2			130	60,01	5,15	100	128
3			130	60,05	5,35	100	131
1		80	130	60,20	5,10	100	125
2			110	60,35	5,45	100	113
3			120	60,10	5,05	100	118

2.8.3. Ensayo de permeabilidad

Tabla 5. Datos de permeabilidad para X

Nº	θ, min	70%		75%		80%	
		m _i , g	m _f , g	m _i , g	m _f , g	m _i , g	m _f , g
1	15	46,6192	52,8741	59,0887	68,2836	77,4490	92,9643
2		47,4806	53,3967	58,7417	68,3271	78,0155	93,4562
3		46,9454	52,6019	58,2716	67,5165	78,5089	93,9058
1	30	47,6065	53,1032	58,8080	65,4715	70,2534	83,8502
2		47,5011	52,2519	57,3172	65,6596	71,2707	84,751
3		47,1342	52,0076	58,1461	66,0159	75,3439	89,6912

Tabla 6. Datos de permeabilidad para Y

N°	θ , min	70%		75%		80%	
		m_i , g	m_f , g	m_i , g	m_f , g	m_i , g	m_f , g
1	15	46,982	53,4776	58,4625	68,5118	73,4254	89,5571
2		46,8361	54,0461	56,2639	66,1947	72,3469	88,9005
3		46,2188	52,1688	56,8126	66,2036	72,6621	88,5811
1	30	46,2305	51,1683	58,4325	64,9594	73,1204	88,0743
2		46,7652	51,7691	56,2632	64,9762	72,049	87,3126
3		46,5564	52,0818	56,8106	65,3959	72,4624	87,9925

Tabla 7. Datos de permeabilidad para Z

N°	θ , min	70%		75%		80%	
		m_i , g	m_f , g	m_i , g	m_f , g	m_i , g	m_f , g
1	15	34,5281	44,6522	42,6015	57,9844	53,7538	77,0472
2		34,2039	44,0979	42,3129	57,8703	52,8274	78,7302
3		34,933	45,0013	42,9014	58,3812	52,9061	77,2716
1	30	33,5902	42,7502	42,0050	57,8123	53,2001	73,3249
2		34,9761	44,6194	41,4028	54,7533	51,4545	70,7861
3		35,1384	44,9827	40,7394	54,2281	52,1254	72,9892

2.8.4. Ensayo de dureza Shore A

Tabla 8. Datos de dureza Shore A para X

N°	θ , min	%S	Lámina 1		Lámina 2		Lámina 3	
			Pto 1	Pto 2	Pto 1	Pto 2	Pto 1	Pto 2
1	15	70	80	74	82	84	84	76
2			76	76	76	76	78	74
3			74	74	68	74	68	74
4			76	82	74	76	74	80
5			68	76	68	76	78	70
1	30	75	64	72	78	78	74	76
2			66	68	64	66	72	66
3			76	66	72	66	64	72

Continuación tabla 8.

4			72	68	64	74	66	72
5			72	76	68	72	72	74
1		80%	56	54	54	56	58	56
2			56	54	58	54	58	58
3			56	52	58	50	56	58
4			56	50	50	54	50	62
5			54	54	54	56	56	62
1	30	70%	76	76	78	70	80	88
2			76	78	78	76	86	88
3			80	76	78	74	82	82
4			76	72	78	76	80	84
5			76	78	78	74	86	84
1		75%	80	72	74	78	68	66
2			82	76	76	76	66	68
3			78	72	76	76	66	70
4			80	76	76	76	70	72
5			80	70	78	76	68	68
1		80%	56	54	58	60	54	60
2			58	52	58	64	56	56
3			58	54	58	60	54	56
4			56	52	60	60	56	56
5			58	52	60	60	54	56

Tabla 9. Datos de dureza Shore A para Y

N°	0, min	%S	Lámina 1		Lámina 2		Lámina 3	
			Pto 1	Pto 2	Pto 1	Pto 2	Pto 1	Pto 2
1	15	70%	74	66	76	76	72	72
2			74	66	72	70	66	72
3			74	72	72	66	72	72
4			74	72	72	76	72	74
5			72	70	68	76	76	74
1		75%	64	68	70	66	74	68
2			70	68	72	64	74	68

Continuación tabla 9.

3	30		70	64	68	64	74	68
4			72	64	68	66	66	68
5			74	74	68	66	64	68
1		80%	54	56	66	62	68	64
2			68	54	68	56	68	64
3			64	68	68	62	64	62
4			56	56	66	72	64	60
5			56	56	66	68	54	60
1		70%	78	78	68	70	74	74
2			76	76	70	72	76	76
3			76	78	72	68	76	76
4			76	76	68	70	76	76
5			76	76	70	72	76	76
1		75%	72	70	68	72	70	70
2			70	74	68	70	70	70
3			74	72	64	68	68	70
4			76	72	68	72	66	70
5			74	74	70	72	72	68
1		80%	68	72	60	60	58	60
2			70	70	64	60	58	58
3			74	74	64	60	58	58
4			70	70	66	60	58	56
5			68	76	66	62	58	56

Tabla 10. Datos de dureza Shore A para Z

N°	θ, min	%S	Lámina 1		Lámina 2		Lámina 3	
			Pto 1	Pto 2	Pto 1	Pto 2	Pto 1	Pto 2
1	15	70%	60	62	52	56	60	54
2			58	56	54	56	54	54
3			58	56	54	56	54	56
4			56	54	56	54	52	56
5			60	60	52	54	52	56
1		75%	50	52	50	50	54	56

Continuación tabla 10.

2			50	54	48	52	54	56
3			54	54	54	52	52	56
4			54	58	54	52	50	60
5			54	52	52	60	50	58
1		80%	52	50	54	46	48	44
2			48	54	48	44	48	46
3			52	50	48	50	50	54
4			52	46	46	48	50	50
5			50	46	46	48	54	48
1		70%	60	58	58	56	54	54
2			60	60	56	54	54	58
3			60	56	56	54	58	58
4			58	58	60	56	58	60
5			60	58	58	56	60	58
1	30	75%	54	56	52	56	58	58
2			58	56	52	54	56	54
3			54	56	52	54	56	60
4			56	56	54	56	56	56
5			54	54	54	54	56	56
1		80%	48	50	54	48	50	56
2			48	52	52	50	54	54
3			46	52	54	48	54	52
4			48	54	54	50	52	52
5			46	54	52	50	54	52

2.8.5. Resistencia a la abrasión

Tabla 11. Datos de resistencia a la abrasión para X

Nº	θ, min	% S	m _i , g	m _f , g
1	15	70	14,37	11,17
2			14,78	11,85
3			14,82	12,04

Continuación tabla 11.

1		75	13,65	10,87
2			13,70	10,94
3			13,27	10,59
1		80	12,29	10,67
2			12,64	10,41
3			12,32	10,21
1		70	13,27	11,04
2			14,43	10,96
3			14,13	10,71
1	30	75	13,22	10,59
2			13,51	10,38
3			13,15	10,16
1		80	12,58	10,59
2			12,53	10,64
3			12,70	10,23

Tabla 12. Datos de resistencia a la abrasión para Y

Nº	θ, min	% S	m _i , g	m _f , g
1	15	70	13,13	10,85
2			13,34	11,14
3			12,97	10,73
1		75	13,24	11,06
2			13,30	11,11
3			12,99	10,86
1		80	12,98	10,48
2			12,72	10,81
3			13,05	10,66
1	30	70	12,81	10,71
2			13,09	10,24
3			12,80	10,53
1		75	13,20	10,10
2			13,23	11,32
3			13,15	11,06

Continuación tabla 12.

1		80	12,95	10,54
2			12,84	10,61
3			13,15	10,42

NOTA: No se obtuvo datos para Z porque el tamaño de partícula es muy grande y no permite formar una probeta con las dimensiones para esta prueba, además que tiene mucha porosidad.

2.8.6. Resistencia a la compresión

Tabla 13. Datos de resistencia a la compresión para X

Nº	θ, min	%S	CARGA 2 kg		
			e _i , mm	e _f , mm	Ø, mm
1	15	70	14,43	13,41	28,90
2			15,02	13,92	28,85
3			14,59	13,50	28,75
1		75	15,37	14,17	28,95
2			15,92	14,52	28,80
3			15,63	14,28	28,80
1		80	15,54	13,38	28,95
2			15,95	13,19	28,70
3			16,12	13,85	28,80
1	30	70	14,73	13,97	28,85
2			14,71	14,15	28,80
3			14,74	13,93	28,85
1		75	14,91	13,63	28,90
2			14,76	13,79	28,85
3			14,74	13,60	28,85
1		80	14,73	12,56	28,80
2			14,72	12,77	28,80
3			14,75	12,88	28,85

Tabla 14. Datos de resistencia a la compresión para Y

Nº	θ , min	%S	CARGA 2 kg		
			e_i , mm	e_f , mm	\varnothing , mm
1	15	70	14,78	13,77	28,75
2			14,80	12,78	28,85
3			14,83	12,81	28,75
1		75	14,82	12,19	28,85
2			14,73	12,24	28,80
3			14,77	12,15	28,80
1		80	14,76	11,56	28,80
2			14,83	11,43	28,80
3			13,75	10,81	28,75
1	30	70	17,82	16,44	28,80
2			17,79	16,38	28,80
3			17,83	16,50	28,90
1		75	18,06	16,21	28,70
2			18,44	16,13	28,75
3			18,30	16,49	28,75
1		80	18,00	15,24	28,90
2			17,93	15,05	28,75
3			17,59	14,88	28,75

Tabla 15. Datos de resistencia a la compresión para Z

Nº	θ , min	%S	CARGA 2 kg		
			e_i , mm	e_f , mm	\varnothing , mm
1	15	70	18,43	13,37	28,85
2			18,51	13,20	28,80
3			18,55	13,31	28,95
1		75	18,57	12,01	28,90
2			18,69	13,03	28,90
3			18,46	12,40	28,70
1		80	18,86	7,32	28,75
2			18,49	7,84	28,75
3			18,75	7,87	28,80

Continuación tabla 15.

1	30	70	16,81	12,63	28,70
2			16,84	12,52	28,80
3			16,78	12,73	28,80
1		75	16,83	11,98	28,85
2			16,73	12,06	28,80
3			16,79	12,00	28,85
1		80	16,34	9,19	28,70
2			16,86	9,29	28,70
3			16,91	9,30	28,75

Tabla 16. Datos de densidad de las láminas obtenidas

Tamaño	%S	Densidad, g/cm ³
X	70	1,02
	75	1,03
	80	1,02
Y	70	1,02
	75	1,02
	80	1,03
Z	70	1,03
	75	1,02
	80	1,03

Nota: Los datos de la densidad son los mismos para θ_1 y θ_2 .

Tabla 17. Datos de Flexión de las láminas obtenidas

	θ , min	%S	Flexión, ciclos
X	15	70	315
		75	324
		80	516
Y		70	431
		75	347
		80	332

Continuación tabla 17.

X	30	70	350
		75	365
		80	543
Y		70	467
		75	389
		80	378

NOTA: No se obtuvo datos para Z porque el tamaño de partícula es muy grande y no permite formar una probeta con las dimensiones para esta prueba, además que tiene mucha porosidad.

Tabla 18. Datos de desgarre para muestras seleccionadas

LOTE	θ, min	Nº	Tensión (kgf/cm ²)
70% X	15	1	9,70
		2	4,90
		3	5,00
75% X		1	8,10
		2	7,10
		3	7,30
70% Y		1	4,60
		2	3,80
		3	6,50
70% X	30	1	11,40
		2	5,90
		3	6,40
75% X		1	9,30
		2	7,80
		3	9,10
70% Y		1	3,00
		2	6,10
		3	8,60

Tabla 19. Datos de envejecimiento acelerado para muestras seleccionadas

Nº	θ, min	LOTE	Desgarre (kgf/cm ²)
1	15	70% X	2,5
2			2,3
3			4,0
1		75% X	5,3
2			4,3
3			4,7
1		70% Y	4,4
2			3,0
3			2,8
1	30	70% X	4,6
2			3,9
3			3,8
1		75% X	6,4
2			5,3
3			5,4
1		70% Y	4,6
2			3,9
3			3,7

3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1. Cálculos

3.1.1. *Cálculo para resistencia a la tracción*

3.1.1.1. *Cálculo de la fuerza de la ruptura*

$$F = C \times g \quad (1)$$

Donde:

F = Fuerza de la ruptura (N)

C = carga ejercida en la probeta (kg)

g = gravedad = CTE $\approx 9,81 \text{ m/s}^2$

Cálculo modelo para 70% de X, $\theta_1 = 15 \text{ min. } n = 1$

$$F = (170 \text{ kg}) \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$
$$F = 1667,70 \text{ N}$$

3.1.1.2. *Cálculo del área transversal de la probeta de ensayo*

$$A_T = a \times e \quad (2)$$

Donde:

A_T = Área transversal (mm^2)

a = ancho de la probeta (mm)

e = espesor de la probeta (mm)

Cálculo modelo para 70% de X, $\theta_1 = 15$ min. n = 1

$$A_T = (60,35 \text{ mm}) (4,30 \text{ mm}) A_T = 259,51 \text{ mm}^2$$

3.1.1.3. Cálculo de la resistencia a la tracción

$$R_m = \frac{F}{A_T} \quad (3)$$

Donde:

R_m = Resistencia a la tracción (MPa)

A_T = Área transversal (mm²)

Cálculo modelo para 70% de X, $\theta_1 = 15$ min. n = 1

$$R_m = \frac{1667,70 \text{ N}}{259,51 \text{ mm}^2}$$

$$R_m = 6,43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 6,43 \text{ MPa}$$

3.1.2. Cálculo del alargamiento porcentual

3.1.2.1. Cálculo de la elongación porcentual a la rotura

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

%e = Elongación porcentual

L₀ = Longitud inicial entre marcas (mm)

L = Longitud entre marcas de la ruptura (mm)

Cálculo modelo para 70% de X, $\theta_1 = 15$ min. n = 1

$$\%e = \frac{167 - 100}{100} \times 100$$

$$\%e = 67\%$$

3.1.3. Cálculo de la impermeabilidad

$$\%p = \frac{m_f - m_i}{m_i} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

$\%p$ = % permeabilidad

m_i = peso inicial de la lámina antes de sumergir en agua (g)

m_f = peso final de la lámina después de 30 días sumergida en agua (g)

Cálculo modelo para 70% de X, $\theta_1 = 15$ min. n = 1

$$\%p = \frac{52,8741 - 46,6192}{46,6192} \times 100$$

$$\%p = 13,42$$

$$\%imp = 100 - \%p$$

Cálculo modelo para 70% de X, $\theta_1 = 15$ min. n = 1

$$\%imp = 100 - 13,42$$

$$\%imp = 86,58$$

3.1.4. Cálculo de la mediana para el grado de dureza shore A.

Tabla 20. Datos agrupados para el cálculo de la mediana

Y_i	n_i	N_i
68	4	4
70	1	5

Continuación tabla20.

74	8	13
76	9	22
78	2	24
80	2	26
82	2	28
84	2	30

$$Me = \frac{Y_i + Y_{i-1}}{2} \quad (6)$$

Donde:

Me = Mediana

Y_i = es el valor de la variable, corresponde al valor que sobrepasa a más de la mitad de las observaciones N_i .

Y_{i-1} = es el valor de la variable anterior a Y_i .

Cálculo modelo para 70% de X, $\theta_1 = 15$ min. $n = 1$

$$Me = \frac{74 + 76}{2}$$

$$Me = 75 \text{ grados shore A}$$

3.1.5. Cálculo del grado abrasivo.

$$A = \frac{(m_i - m_f)}{\rho} k \quad (7)$$

Donde:

A = Abrasión. Pérdida de volumen de una probeta (mm^3)

m_i = peso inicial de la probeta (g)

m_f = peso final de la probeta (g)

k = constante de probeta estándar = 0,1605 (mm^3/cm^3)

ρ = densidad de la probeta (g/mm^3)

Cálculo modelo para 70% de X, $\theta_1 = 15$ min. $n = 1$

$$A = \frac{(14,37 - 11,17)}{1,02 \times 10^{-3}} 0,1605$$
$$A = 503,529 \text{ mm}^3$$

3.1.6. Cálculo de la resistencia a la compresión.

3.1.6.1. Cálculo de la fuerza aplicada a la probeta

$$F = C \times g \quad (8)$$

Donde:

F = Fuerza aplicada a la probeta (N)

C = carga ejercida en la probeta (kg)

g = gravedad = CTE $\approx 9,81 \text{ m/s}^2$

$$F = (2 \text{ kg}) \times \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$F = 19,62 \text{ N}$$

3.1.6.2. Cálculo del área transversal de la probeta

$$A_T = \frac{\pi d^2}{4} \quad (9)$$

Donde:

A_T = Área transversal de la probeta (mm^2)

d = diámetro de la probeta (mm)

Cálculo modelo para 70% de X, $\theta_1 = 15$ min. $n = 1$

$$A_T = \frac{\pi (28,90)^2}{4}$$

$$A_T = 653,71 \text{ mm}^2$$

3.1.6.3. Cálculo del esfuerzo aplicado a la probeta

$$E = \frac{F}{A_T} \quad (10)$$

Donde:

E = esfuerzo aplicado a la probeta (kPa)

F = fuerza aplicada a la probeta (N)

A_T = Área transversal de la probeta (mm²)

Cálculo modelo para 70% para X, θ₁= 15 min. n = 1

$$E = \frac{19,62 \text{ N}}{653,71 \text{ mm}^2}$$

$$E = 0,0300 \text{ MPa}$$

$$E = 30,01 \text{ kPa}$$

3.1.6.4. Cálculo del porcentaje de compresión

$$\%C = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100 \quad (11)$$

Donde:

R_c = porcentaje de compresión (%)

L_i = espesor inicial de la probeta (mm)

L_f = espesor final de la probeta (mm)

Cálculo modelo para 70% de X, θ₁= 15 min. n = 1

$$R_C = \frac{14,43 - 13,41}{14,43} \times 100$$

$$R_C = 5,16$$

3.1.7. Cálculo del promedio de tensión al desgarre

$$\bar{T} = \frac{n_i}{3} \quad (12)$$

Donde:

\bar{T} = Promedio de la tensión al desgarre (kgf/cm²)

n_i = número de repeticiones del ensayo

Cálculo modelo para 70% de X, θ_1 = 15 min.

$$\bar{T} = \frac{9,70 + 4,70 + 5,00}{3}$$

$$\bar{T} = 6,53 \frac{kgf}{cm^2}$$

3.1.8. Cálculos para el envejecimiento acelerado.

3.1.8.1. Cálculo del desgarre con envejecimiento acelerado.

$$\bar{d} = \frac{n_i}{3} \quad (13)$$

Donde:

\bar{d} = Promedio del desgarre con envejecimiento acelerado. (kgf/cm²)

n_i = número de repeticiones del ensayo

Cálculo modelo para 70% de X, θ_1 = 15 min.

$$\bar{d} = \frac{2,50 + 2,30 + 4,00}{3}$$

$$\bar{d} = 2,93 \frac{kgf}{cm^2}$$

3.1.8.2. Cálculo del porcentaje de reducción para el envejecimiento acelerado.

$$\%reducción = \frac{\bar{T} - \bar{d}}{\bar{T}} \times 100 \quad (14)$$

Donde:

\bar{d} = Promedio del desgarre con envejecimiento acelerado (final). (kgf/cm²)

\bar{T} = Promedio de la tensión al desgarre (inicial) (kgf/cm²)

Cálculo modelo para 70% de X, $\theta_1 = 15$ min.

$$\%reducción = \frac{6,53 - 2,93}{6,53} \times 100$$

$$\%reducción = 55,10\%$$

3.2. Resultados

Tabla 21. Resultados de resistencia a la tracción y alargamiento porcentual

Tamaño	θ, min	%S	Promedio Rm, MPa	Promedio %e
X	15	70	6,82	70,00
		75	5,31	36,00
		80	4,41	27,67
Y		70	6,40	46,33
		75	5,18	21,33
		80	4,60	13,33
Z		70	3,82	31,00
		75	3,69	27,33
		80	3,70	12,33
X	30	70	6,93	74,00
		75	5,21	44,67
		80	4,25	36,00
Y		70	6,12	60,00
		75	4,90	42,00
		80	5,08	27,33
Z		70	4,12	38,33
		75	4,04	32,00
		80	3,77	18,67

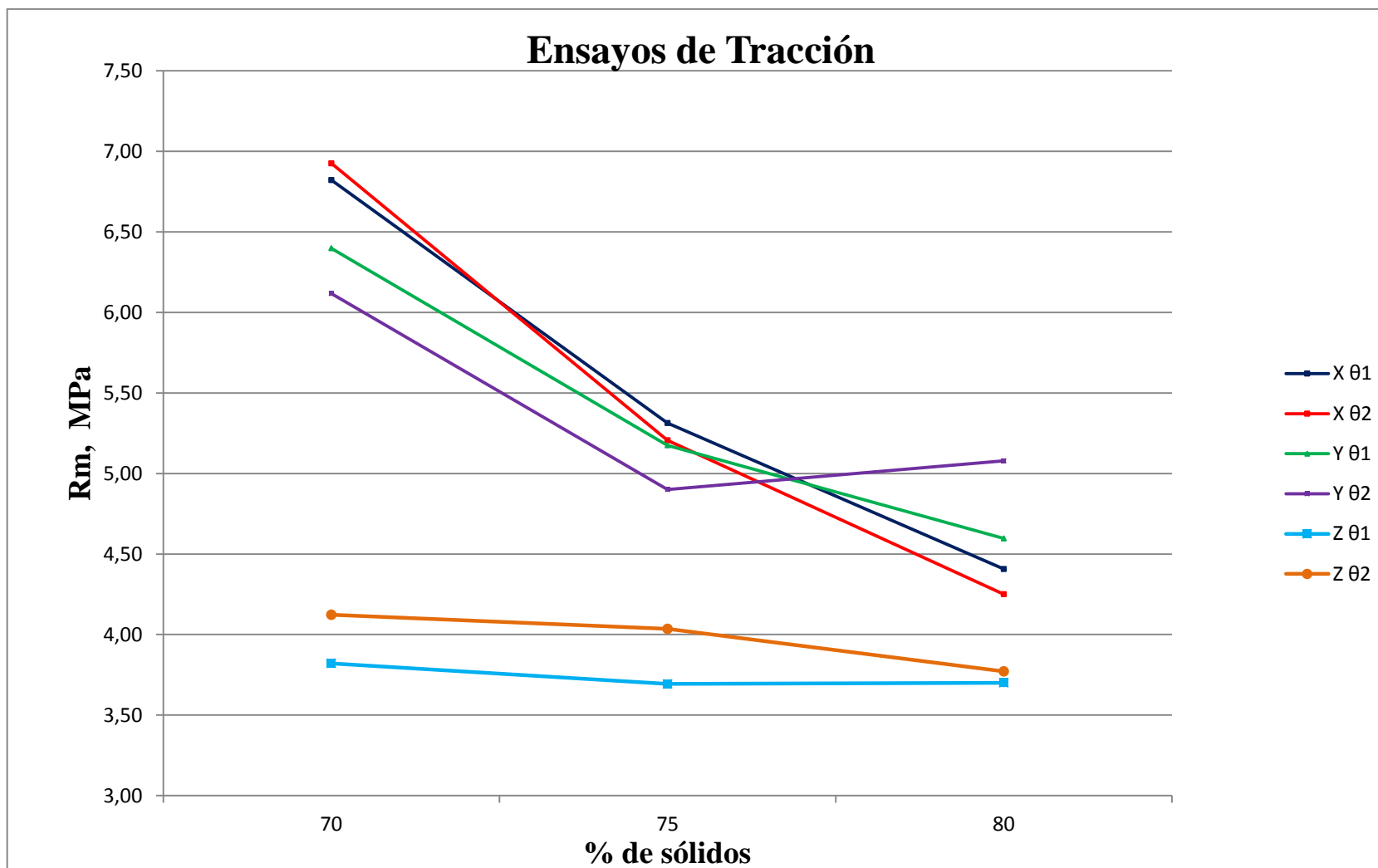


Gráfico 1. Análisis comparativo del ensayo de Resistencia a la Tracción

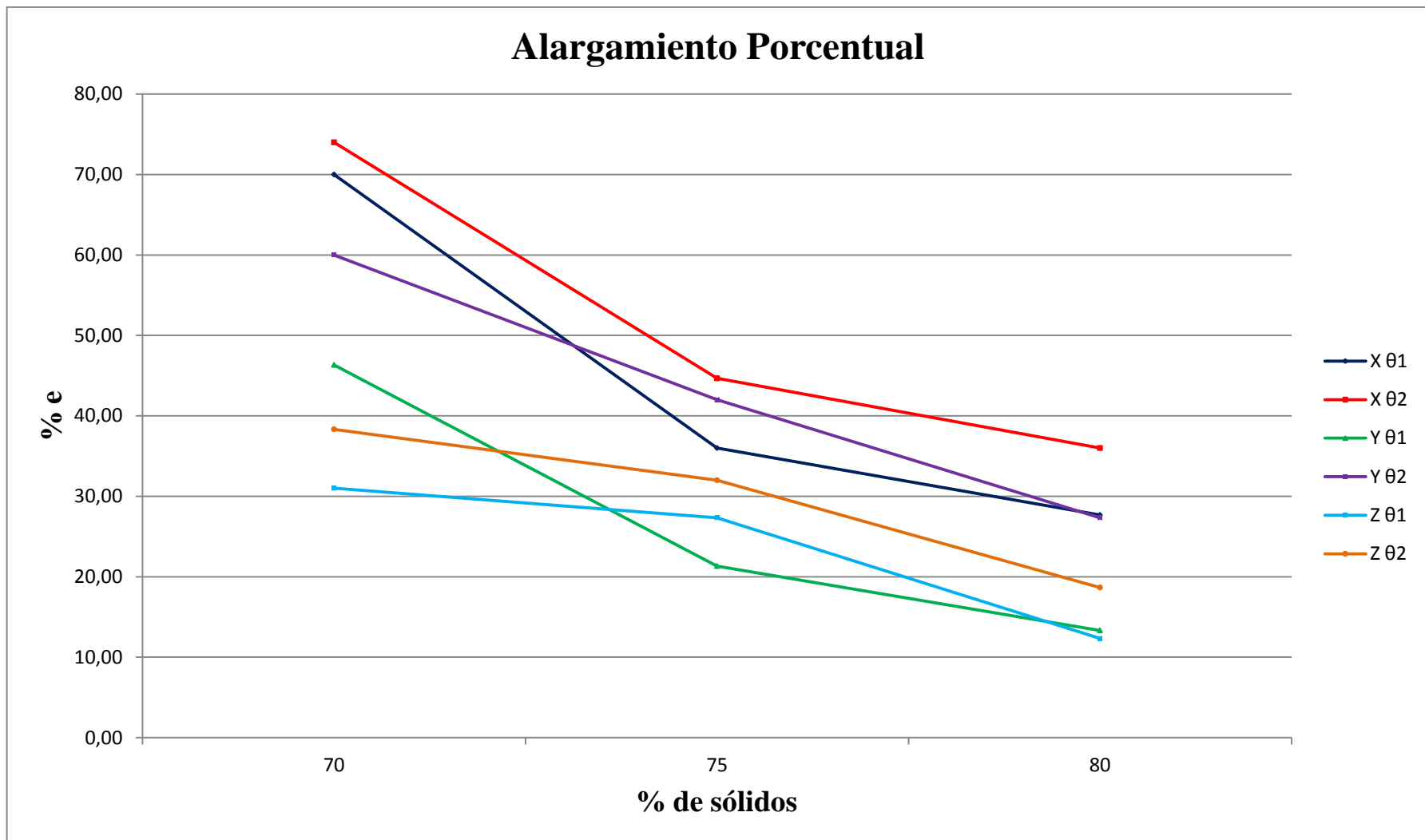


Gráfico 2. Análisis comparativo del ensayo de Alargamiento Porcentual

Tabla 22. Resultados de impermeabilidad de las láminas

Tamaño	θ , min	%S	% impermeabilidad
X	15	70	87,36
		75	84,09
		80	80,19
	30	70	89,37
		75	86,86
		80	80,90
Y	15	70	85,97
		75	82,88
		80	77,75
	30	70	88,92
		75	86,08
		80	78,98
Z	15	70	71,66
		75	63,17
		80	55,69
	30	70	72,21
		75	67,32
		80	61,20

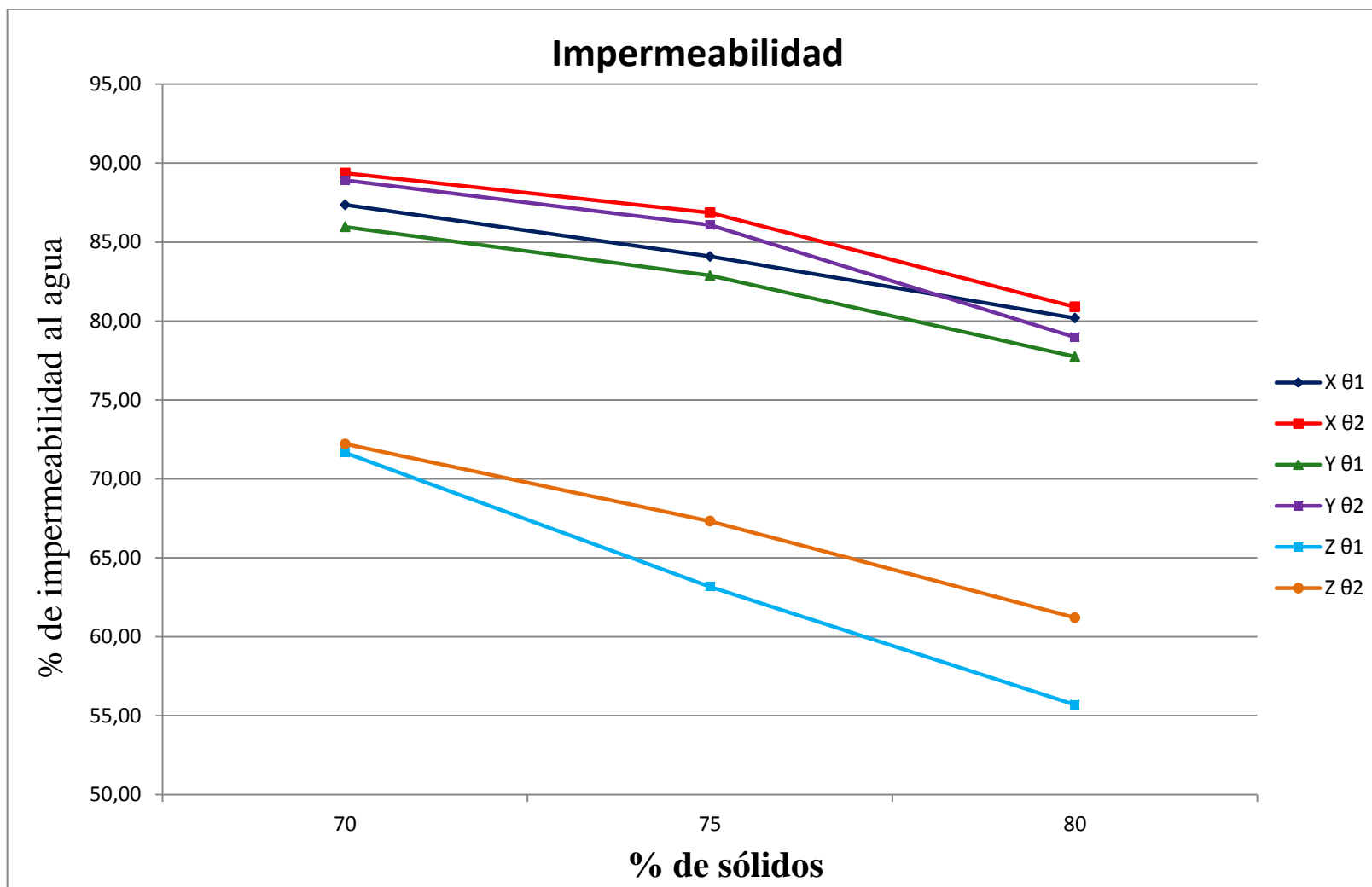


Gráfico 3. Análisis comparativo del ensayo de Permeabilidad al agua

Tabla 23. Resultados del grado de Dureza Shore A

Tamaño	θ, min	%S	Dureza Shore A, grado shore	Valor Permissible (neumático)
X	15	70	75	40 – 90
		75	73	
		80	55	
Y		70	72	
		75	67	
		80	65	
Z		70	55	
		75	53	
		80	49	
X	30	70	77	
		75	74	
		80	57	
Y		70	76	
		75	71	
		80	62	
Z		70	57	
		75	56	
		80	51	

Fuente: TEXTOS CIENTÍFICOS. *Caucho*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 20 de marzo del 2012 a las 11:34]. Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/caucho/sbr>

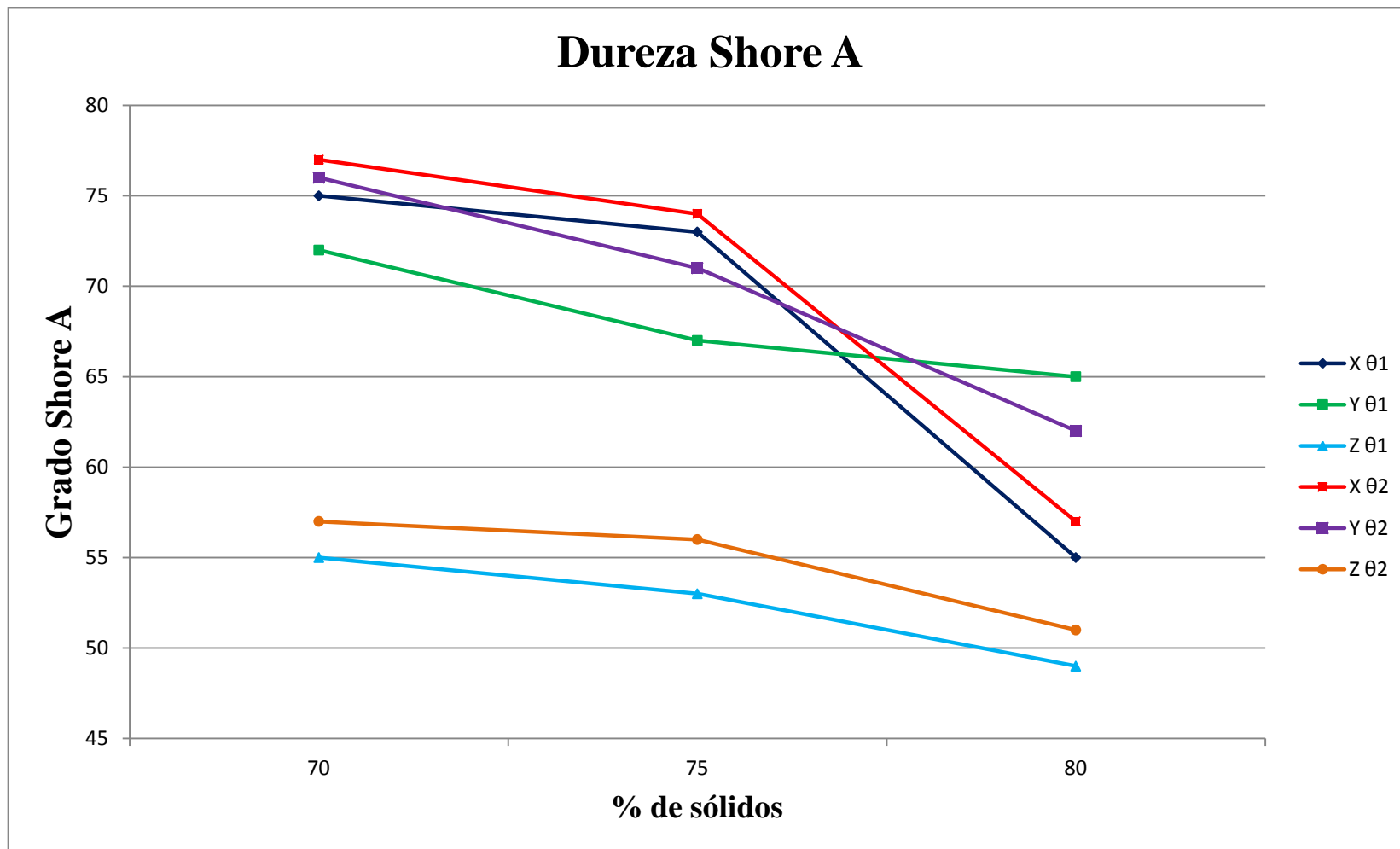


Gráfico 4. Análisis comparativo del ensayo de Dureza Shore A

Tabla 24. Resultados del grado abrasivo

Tamaño	θ, min	%S	A, mm ³	Grado abrasivo (caucho natural), mm ³
X	15	70	467,34	213
		75	426,96	
		80	312,61	
Y		70	352,47	
		75	340,93	
		80	353,20	
X	30	70	478,35	
		75	454,49	
		80	333,06	
Y		70	378,70	
		75	372,40	
		80	382,81	

Fuente: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-5963. *Standard Test Method for Rubber Property – Abrasion Resistance (Rotary Drum Abrader)*. Philadelphia. p. 5.

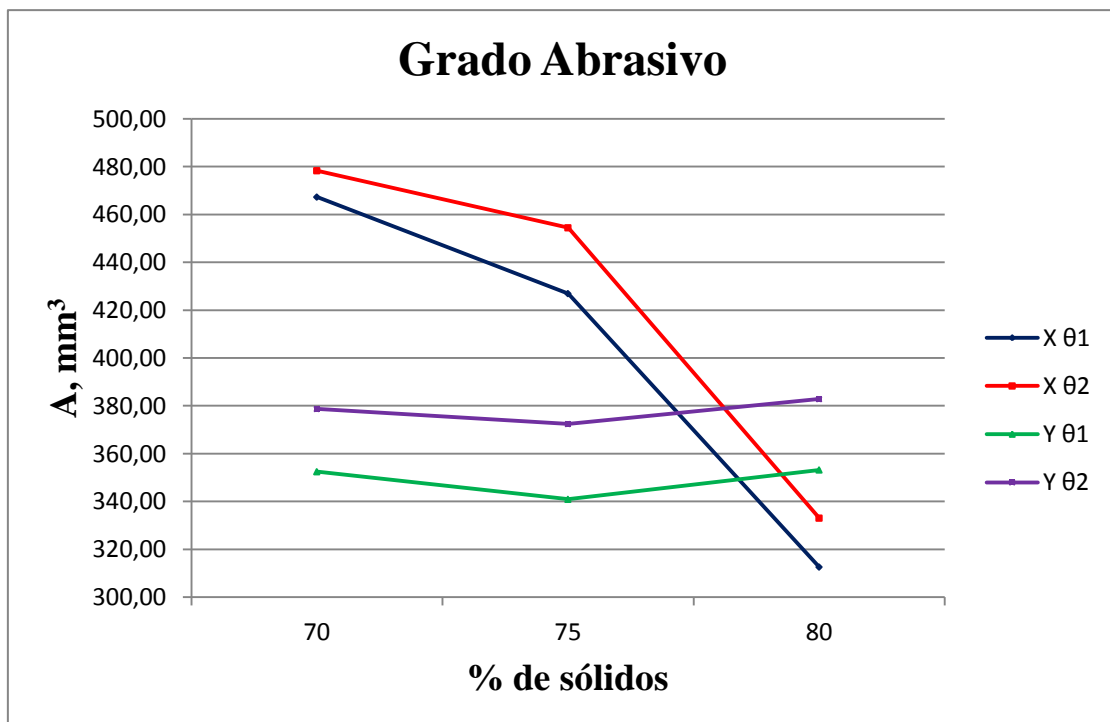


Gráfico 5. Análisis comparativo del ensayo de Resistencia a la Abrasión

Tabla 25. Resultados de la resistencia a la compresión

Tamaño	θ, min	%S	Promedio E, kPa	Promedio Rc, %
X	15	70	30,05	7,29
		75	30,01	8,41
		80	30,08	15,10
Y		70	30,15	11,37
		75	30,08	17,46
		80	30,15	22,00
Z		70	29,98	28,13
		75	30,05	32,81
		80	30,19	58,94
X	30	70	30,05	4,82
		75	29,98	7,63
		80	30,08	13,55
Y		70	30,05	7,71
		75	30,26	10,89
		80	30,12	15,60
Z		70	30,19	24,89
		75	30,05	28,42
		80	30,29	44,55

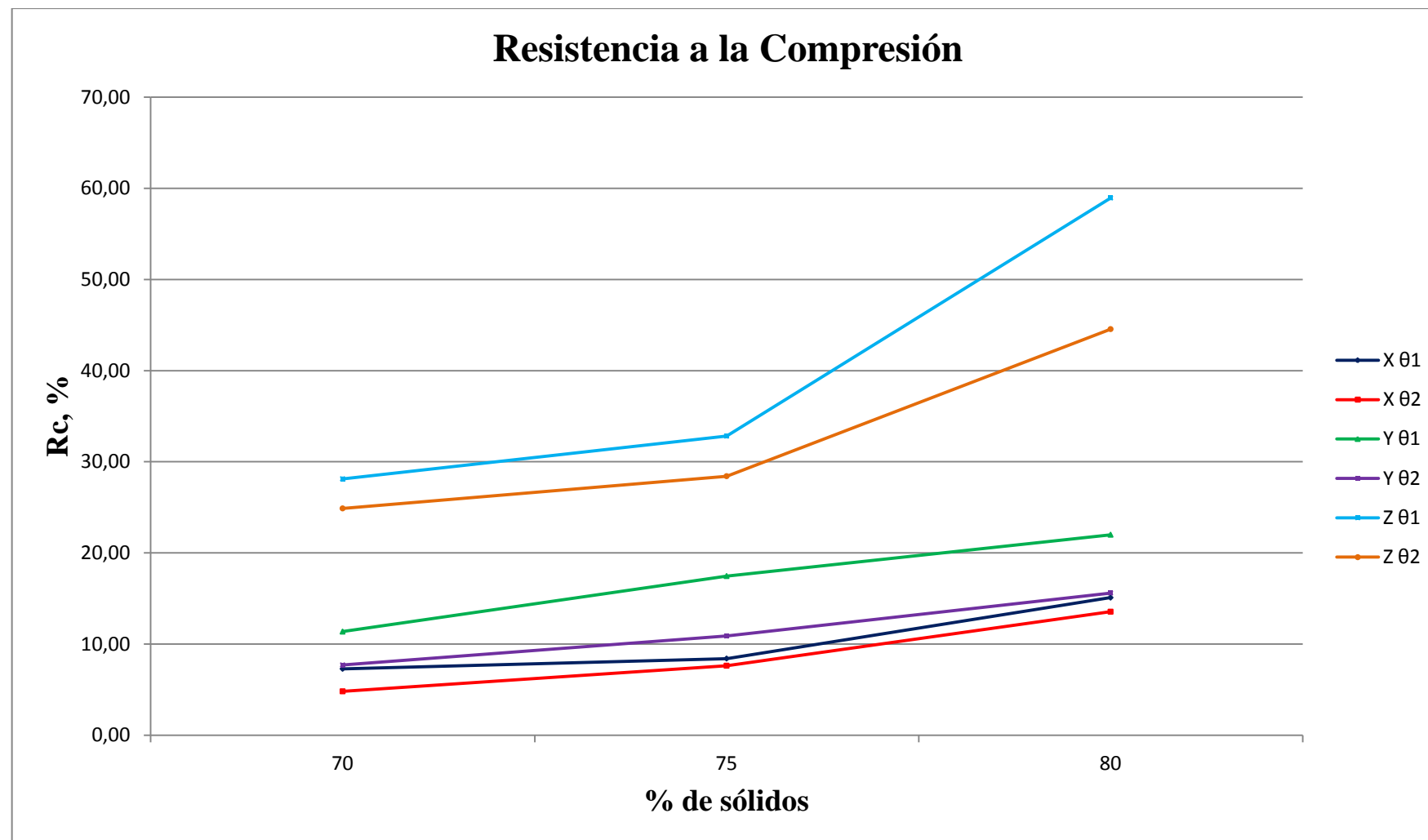


Gráfico 6. Análisis comparativo del ensayo de Resistencia a la Compresión

Tabla 26. Resultados de la densidad de las láminas

Tamaño	%S	Densidad, g/cm ³	Densidad artículos de caucho, g/cm ³	
			Min.	Máy.
X	70	1,02	1	2
	75	1,03		
	80	1,02		
Y	70	1,02		
	75	1,02		
	80	1,03		
Z	70	1,03		
	75	1,02		
	80	1,03		

Fuente: PERRY, J. *Manual del Ingeniero Químico*. Séptima Edición. Editorial McGraw Hill. Volumen 1. España 2001. p. 2 – 126.

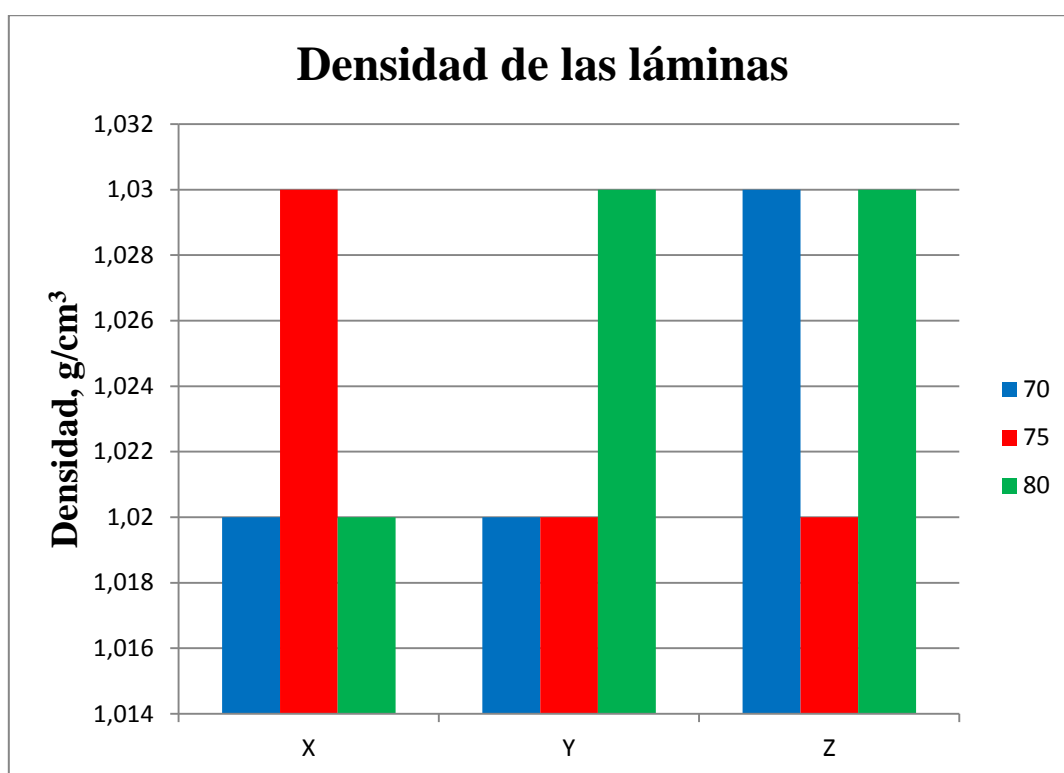


Gráfico 7. Análisis comparativo del Ensayo de Densidad para las láminas

Tabla 27. Resultados de flexión de las láminas

Tamaño	θ, min	%S	Flexión, ciclos	Flexión (caucho natural), ciclos
X	15	70	315	3500
		75	324	
		80	516	
Y		70	431	
		75	347	
		80	332	
X	30	70	350	
		75	365	
		80	543	
Y		70	467	
		75	389	
		80	378	

Fuente: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1052. *Standard Test Method for Measuring Rubber Deterioration-Cut Growth Using Ross Flexing Apparatus*. Philadelphia. p. 3.

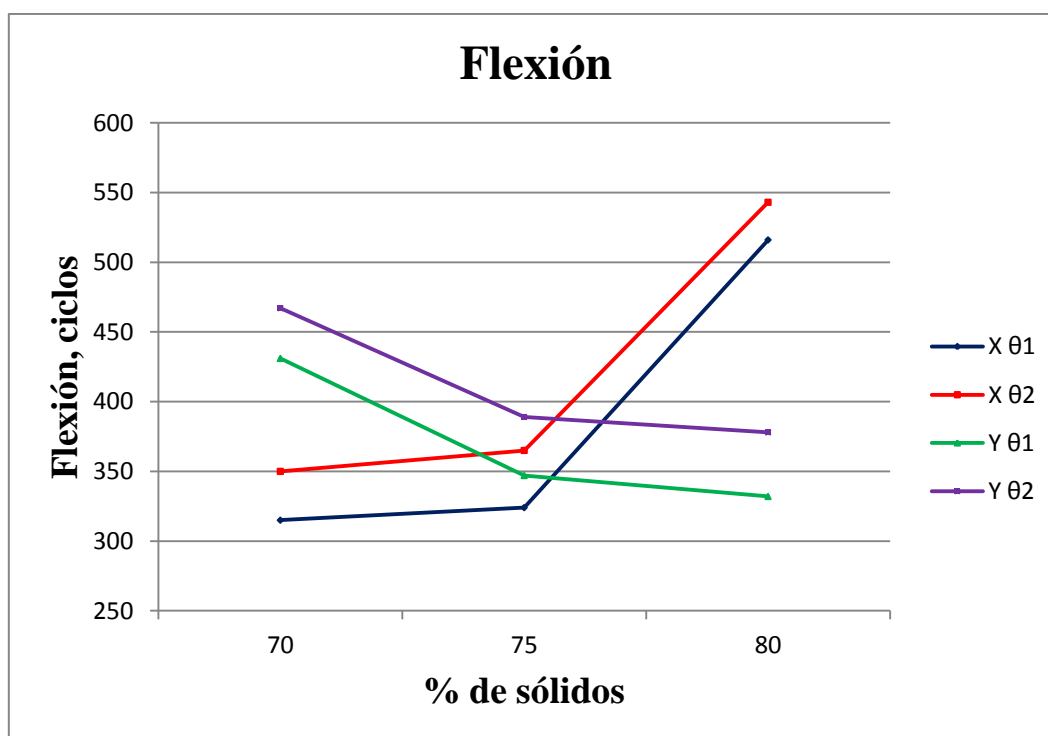


Gráfico 8. Análisis comparativo del Ensayo de Flexión para las láminas

Tabla 28. Resultados de los ensayos de desgarre para láminas seleccionadas

LOTE	θ , min	\bar{T} , (Kgf/cm ²)	Mín. (caucho natural), kgf/cm ²
70% X	15	6,53	84,50
75% X		7,50	
70% Y		4,97	
70% X	30	7,90	
75% X		8,73	
70% Y		5,90	

Fuente: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. INEN 1592. *Juntas Flexibles para Tuberías de Hormigón. Requisitos*. Quito 1987. p. 4.

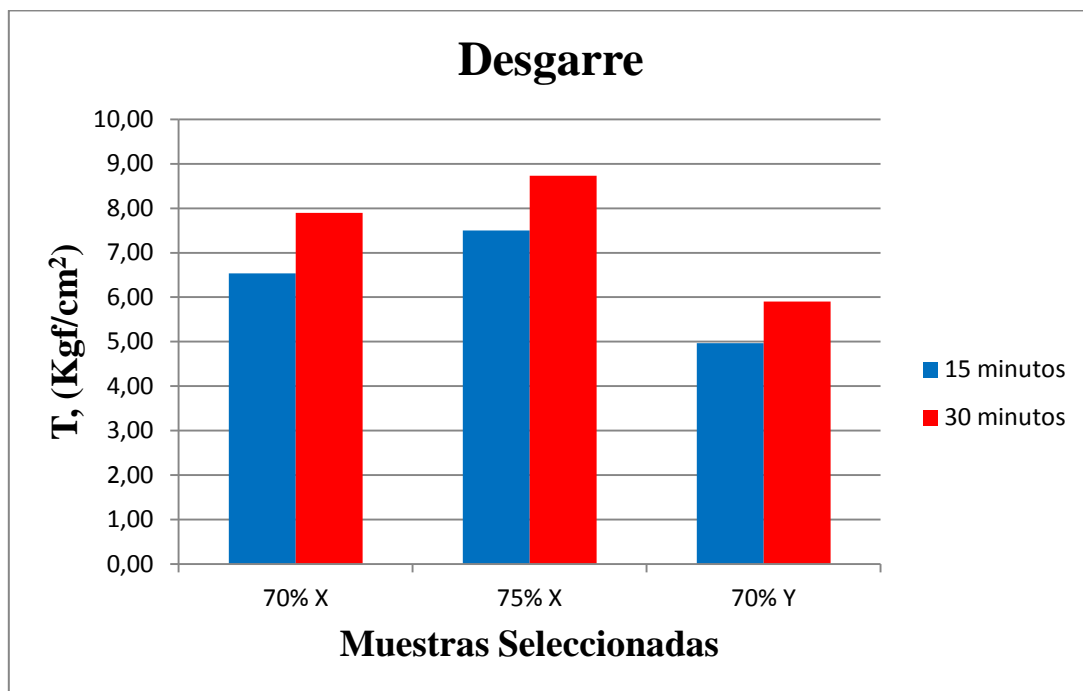


Gráfico 9. Análisis comparativo del Ensayo de Resistencia al Desgarre para láminas seleccionadas

Tabla 29. Resultados de envejecimiento acelerado

θ , min	LOTE	\bar{d} , (kgf/cm ²)	\bar{T} , (kgf/cm ²) inicial	% Reducción	%máx de reducción (caucho natural)
15	70% X	2,93	6,53	55,10	15%
	75% X	4,77	7,50	36,44	
	70% Y	3,40	4,97	31,54	
30	70% X	4,10	7,90	48,10	
	75% X	5,70	8,73	34,73	
	70% Y	4,07	5,90	31,07	

Fuente: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. INEN 1592. *Juntas Flexibles para Tuberías de Hormigón. Requisitos*. Quito 1987. p. 4.

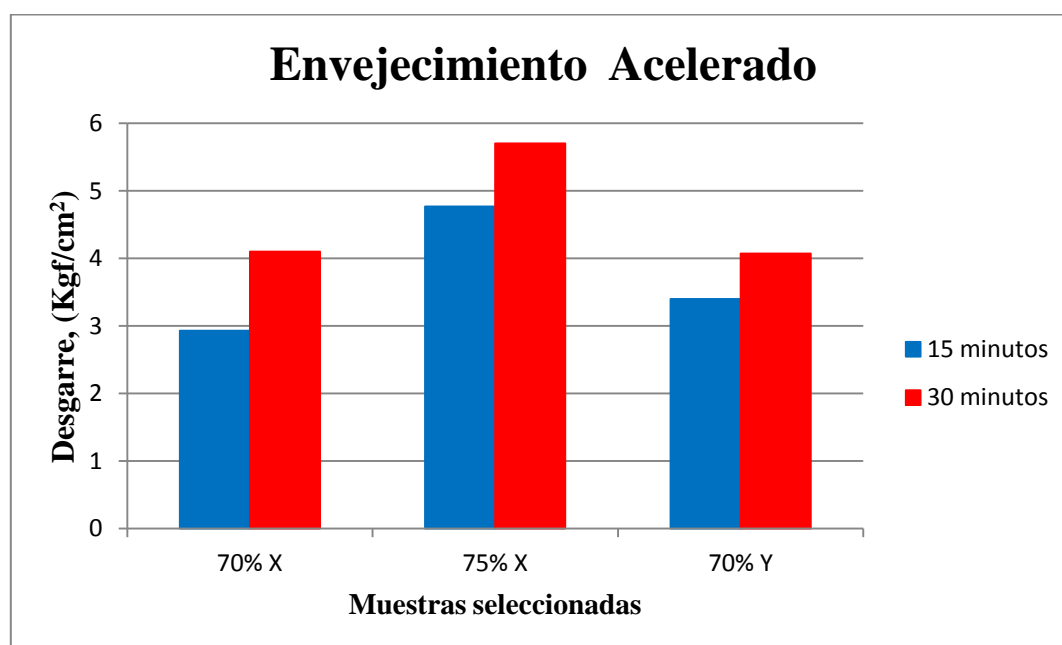


Gráfico 10. Análisis comparativo del Ensayo de desgarre con Envejecimiento Acelerado para láminas seleccionadas

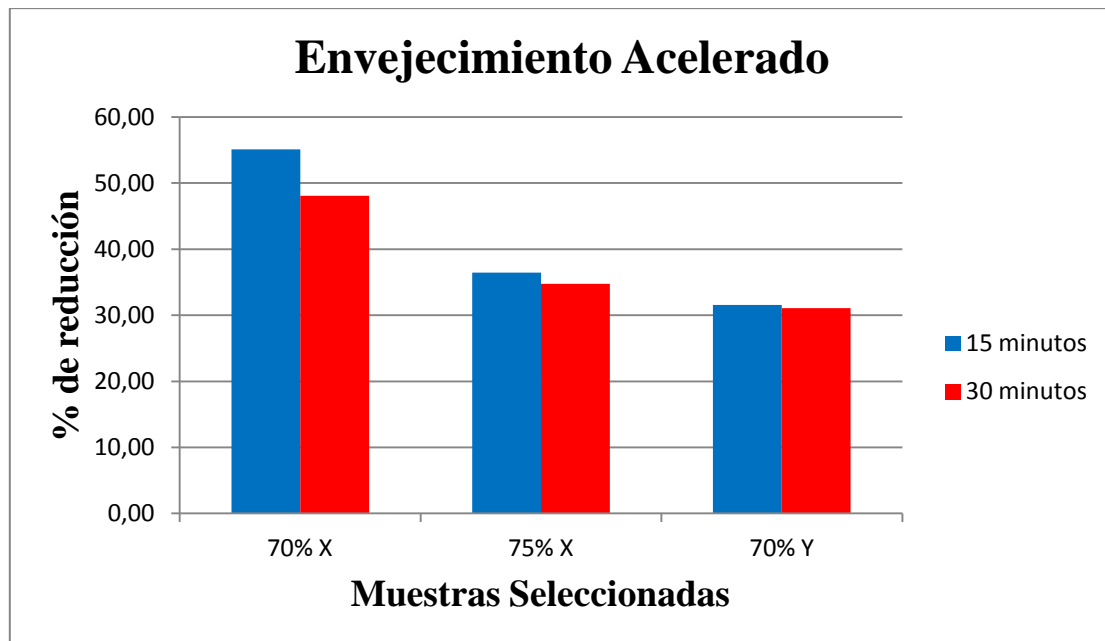


Gráfico 11. Porcentaje de reducción en el envejecimiento acelerado de las láminas seleccionadas

4. DISCUSIÓN

- La investigación se llevó a cabo con partículas de caucho reciclado procedente de la trituración de llantas fuera de uso; sus pruebas físicas y mecánicas fueron realizadas bajo normas internacionales ASTM y normas nacionales NTE INEN. Las muestras se realizaron a condiciones ambientales variando la velocidad de agitación, posteriormente se procedió a un prensado para evitar que las láminas salgan porosas y por ende tiendan a absorber agua.
- Se tomó velocidades de agitación bajas de 200 RPM donde el tiempo de agitación es mayor y al incorporar el isocianato en la mezcla caucho – polioliol, empieza a reaccionar rápidamente y a formar espuma de poliuretano sin aglomerar las partículas, por ende no se tuvo una mezcla manejable para llevar a los moldes y prensarlas; a 900 RPM el tiempo de agitación permite que se homogenice adecuadamente la mezcla y sea manejable para poder prensarla. También se tomó en cuenta que la velocidad debe ser mayor porque este proyecto se puede llevar a nivel industrial y en grandes masas se requiere de mayor agitación para que el polioliol y el caucho se incorporen fácilmente.
- Las láminas fueron prensadas en dos tiempos uno de 15 minutos donde el producto no estaba compactado apropiadamente y otro de 30 minutos donde notablemente se notó que las partículas de caucho se compactaron evitando que haya porosidades y por ende sea un producto impermeable.
- A cada muestra se le hizo 3 repeticiones para obtener una mejor reproducibilidad de los datos y a continuación realizar un análisis comparativo de los datos obtenidos para cada tamaño de partícula y porcentaje de sólidos, a todos los análisis comparativos que se realizaron a los ensayos se tomó los 6 datos más relevantes con el fin de ir descartando las láminas que no llegaron a cumplir con los requisitos, en algunos casos se tomó datos que se asemejan o se acercan al caucho natural.
- En el análisis realizado a los ensayos de resistencia a la tracción, las láminas con el 70% de caucho tienen más resistencia a la ruptura, es decir, que resisten una tensión mayor por lo que son más compactas y tienen la composición ideal.

- En el ensayo de alargamiento porcentual, en esta prueba nos indica el grado de plasticidad del producto, en la lámina al 70% con un tamaño de partícula comercial 1 y un tiempo de prensado de 30 minutos se tiene un valor de 74%, es decir, que las partículas se han compactado adecuadamente para que su elasticidad sea semejante a la del caucho natural, en el caso de las láminas que se realizaron con comercial 3, es decir, con la partícula más gruesa no existe una adecuada compactación por lo que no permite que la lámina se estire.
- Otro de los ensayos más importantes en este proyecto es la impermeabilidad al agua, lo que nos indica la porosidad de cada lámina, es decir, entre mas porosa será menos impermeable por lo que absorberá más líquido, para el 70% con comercial 1 y 70% con comercial 2 los datos son muy cercanos y tienen una alta impermeabilidad al agua, pero en el caso de las láminas fabricadas con comercial 3 su impermeabilidad es la más baja y no podrían ser colocadas a la intemperie.
- El valor más alto de la dureza es de 77 Shore A siendo la escala que se utiliza para materiales elastoméricos, que corresponde a la lámina al 70% de caucho con comercial 1, este valor nos indica la dureza de la superficie, entre más bajo sea el valor más blanda será la lámina y entre más alto será más dura o rígida, para el propósito que se quiera dar a este tipo de láminas su valor está dentro de los parámetros permisibles con relación a la dureza del caucho de los neumáticos.
- El grado abrasivo solo se pudo medir para comercial 1 y comercial 2, puesto que las probetas con las que se realiza éste tipo de ensayos son tipo botón y el tamaño de partícula de comercial 3 es demasiado grande; en este caso al 80% de caucho con comercial 1 su grado abrasivo es mínimo lo que nos indica que esa lámina puede ser sometida a fuerzas de fricción evitando que se desgaste rápidamente.
- La prueba de compresión es una prueba de deformación permanente donde se comprime las probetas entre dos placas a una temperatura de 70°C por 22 horas, después de lo cual se retira la fuerza de compresión que es de 30kPa y se deja que se enfríen por 30 minutos hasta que recobren su espesor original y se registra el espesor no recuperado que es la deformación permanente; la lámina que tuvo mejores resultados fue al 70% de caucho con comercial 1, se deformó en un 4,82%. Este ensayo es útil para predecir la eficacia de un producto que puede estar sometido a compresión por lo que esta lámina es apta para soportar este tipo de esfuerzos sin que llegue a sufrir deformación en su estructura.

- Otro de los ensayos importantes es la densidad de las láminas el cual varía entre 1,02 y 1,03 g/cm³, esto se debe a la aglomeración de las partículas, en el caso de las láminas elaboradas con comercial 1 sus partículas se compactan fácilmente y al ser partículas muy pequeñas su densidad será menor con relación a las láminas realizadas con comercial 3 por lo que las partículas son más grandes y por ende más pesadas. Además, como su densidad está dentro de los valores permisibles para los artículos de caucho, estas láminas son livianas y serán de fácil manejo para instalaciones.
- Los ensayos de flexión que se realizaron a las láminas impermeables tiene valores muy bajos, esto se debe a que se está dando un valor agregado al caucho reciclado proveniente de los neumáticos fuera de uso, el cual se encuentra en forma de partículas; a diferencia del caucho natural que es un líquido viscoso, para la lámina con 80% de caucho con comercial 1 la flexión es de 543 ciclos, esto quiere decir que, la lámina soporta dicho valor antes de que se rompa, generalmente se realiza este ensayo a los neumáticos para ver la resistencia en el crecimiento de una grieta cuando se somete a una doble flexión.
- Se analizaron los ensayos antes mencionados y se seleccionaron las láminas que tienen mejores resultados, al 70% y 75% de comercial 1 y 70% de comercial 2, se las realizaron los ensayos de desgarre y envejecimiento acelerado. Para el ensayo de desgarre se colocaron las probetas en el equipo para medir la tensión que soporta hasta que se rompe la probeta, al hacer comparaciones con el caucho natural, la tensión que soportan con el caucho reciclado es mínimo, posteriormente se realizaron los ensayos de envejecimiento acelerado, donde las probetas deben ser colocadas en una estufa precalentada a 70°C y se las debe dejar por 48 horas, luego se las debe dejar enfriar por 16 horas antes de ser sometidas al ensayo de desgarre, éstos valores también fueron muy bajos, pero la lámina que tuvo menor porcentaje de reducción fue la lámina al 70% de comercial 2, es decir, que puede soportar cambios bruscos de temperatura o de condiciones ambientales antes de que se desgrane o llegue a romper.

5. CONCLUSIONES

- Las láminas impermeables a partir de caucho reciclado con espuma de poliuretano con una relación del 70% de caucho y 30% de espuma, son compactas y sin rugosidades a una velocidad de agitación de 900RPM.
- La resistencia a la tracción y el alargamiento porcentual son altos cuando las láminas han sido compactadas apropiadamente por lo que su tiempo de prensado debe ser mayor para que la que exista una reacción de polimerización correcta.
- Las láminas que tuvieron mejores resultados en el ensayo de permeabilidad al agua son: 70% y 75% con comercial 1 ($0,275 \leq \bar{d}_p \leq 0,360$ mm) y 70% con comercial 2 ($0,360 \leq \bar{d}_p \leq 0,7225$ mm), con una impermeabilidad de 89,37%, 86,86% y 88,92% respectivamente, tomando en cuenta que a menor tamaño de partícula mayor es el área interfacial lo que permite que las partículas de caucho se aglomeren o se compacten adecuadamente.
- El porcentaje mínimo de deformación permanente aplicando una fuerza de compresión de 30KPa es de 4,82% para las láminas al 70% de caucho con un tamaño de partícula comercial 1, por lo que este producto es apto para soportar cargas pesadas.
- El grado de dureza de las láminas obtenidas nos dan a conocer que no tienen durezas extremas, es decir, que no son muy blandas ni muy rígidas, más bien conservan la dureza del caucho vulcanizado a pesar de que están en forma de partículas.
- La densidad del producto no depende del tamaño de partícula, sino del material con el que están hechas las láminas.
- Fabricar láminas con partículas de caucho reciclado ayuda a dar un valor agregado a desechos que no son biodegradables para el medio ambiente, lo que fácilmente se podía desechar en botaderos de basura ahora se puede convertir en materia prima para diferentes productos.

- Con los análisis realizados a cada una de las láminas podemos indicar que nuestro producto puede ser colocado en áreas donde soporta condiciones a la intemperie, también puede ser usado para recubrir el suelo en parques infantiles, pisos de gimnasios, o en lugares de trabajo donde las personas pasan horas de pies, éstos ayudarían a reducir la fatiga y el cansancio, ya que facilita la circulación sanguínea de las piernas y a la vez proporciona una agradable sensación de comodidad a la pisada.

6. RECOMENDACIONES

- Efectuar un análisis minucioso de las láminas impermeables elaboradas, con el fin de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas de las mismas, para que su compactación sea mayor y su porosidad sea menor.
- Realizar un análisis para determinar si las láminas impermeables fabricadas servirán como aislantes acústicos con la finalidad de colocarlas en cuartos donde se encuentren generadores eléctricos, evitando que el impacto ambiental en ruido esté dentro de los parámetros permisibles.
- Es necesario hacer ensayos donde se pueda determinar la conductividad térmica y eléctrica de las láminas para que puedan ser colocadas debajo del parquet en viviendas multifamiliares para evitar la concentrar calor y por ende sea un aislante eléctrico y acústico.
- Efectuar ensayos que determinen la solubilidad o el deterioro acelerado de las láminas con facilidad, tomando en cuenta las condiciones ambientales, es decir, temperatura, humedad relativa, medio ácido o básico.
- Se recomienda que los fabricantes de neumáticos impulsen u originen proyectos que incluyan el reciclaje de caucho natural y vulcanizado, siendo estos residuos la materia prima con valor agregado como recurso para la elaboración de productos que cumplan las expectativas del ser humano.
- Es recomendable que se realice pruebas de calidad de los neumáticos antes de salir fuera de uso ya que éstos pueden ser rencauchados para alargar la vida útil del neumático y posteriormente ser reciclado para evitar el impacto ambiental en vertederos.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARRERA, Augusto. *Manual de Buenas Prácticas Ambientales del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 4 de mayo del 2012 a las 15:20]. Disponible en: <http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/ecoficinas.pdf>.
- [2] CASTRO, Guillermo. *Materiales y Compuestos para la Industrial del Neumático*. 2008. pp. 4-5. [En línea]. [Fecha de consulta: el 2 de abril del 2012 a las 08:10]. Disponible en: http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/Materiales%20y%20Compuestos%20para%20la%20Industria%20del%20Neumatico.pdf.
- [3] CARRASQUERO F. *Fundamentos de Polímeros*. Mérida. 2004. pp. 1-2. [En línea]. [Fecha de consulta: el 13 de abril del 2012 a las 10:20]. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/16700/1/polimeros.pdf>.
- [4] BROWN. *Química la Ciencia Central*. Séptima Edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México 1998. p. 432.
- [5] SALVAT S.A. *Enciclopedia Salvat diccionario*. Tomo III. Salvat Editores S.A. Barcelo – España. 1978. p. 723.
- [6] CANO, GARCÍA & URBINA. *Valorización Material y Energética de neumáticos fuera de uso actualización*. pp. 7 – 8. [En línea] [Fecha de consulta 7 de noviembre del 2012 a las 20:03]. Disponible en: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/2196/7/NFUs_Actualizacion.pdf.
- [7] FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES. *Caucho natural. Características*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 21 de marzo del 2012 a las 17:25]. Disponible en: <http://cienciamateriales.argentina-foro.com/t29-118-caucho-natural-caracteristicas>.
- [8] TEXTOS CIENTÍFICOS. *Caucho*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 20 de marzo del 2012 a las 11:34]. Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/caucho/sbr>.

- [9] SAN FRANCISCO S.A. *Vulcanización*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 20 de marzo del 2012 a las 14:15]. Disponible en: <http://www.sanfranciscomet.com.ar/archivos/Vulcanizacion.pdf>.
- [10] CARRILLO, Flor. Propuesta de gestión de Llantas usadas en el cantón Rumiñahui. Trabajo de Grado. Ingeniero Ambiental. Escuela Politécnica Nacional. 2012. p.4
- [11] IBID. [8].
- [12] JIORINGS. *Elastómeros*. pp. 1 – 2. [En línea]. [Fecha de consulta: el 22 de marzo del 2012 a las 10:04]. Disponible en: http://www.jiorings.com/downloads/CATALOGO_ELASTOMEROS_XS.pdf.
- [13] EAFIT. *Elaboración del Poliuretano*. pp. 1 – 2. [En línea]. [Fecha de consulta: el 13 de abril del 2012 a las 09:45]. Disponible en: <http://bdigital.eafit.edu.co/PROYECTO/P668.4239A662/capitulo1.pdf>.
- [14] BAYER. *Fabricación de Espuma rígida de Poliuretano*. pp. 4 – 5. [En línea]. [Fecha de consulta: el 11 de mayo del 2012 a las 17:43]. Disponible en: [http://www.pu-systems.bayermaterialscience.com/BMS/BMS_Resource_Center.nsf/id/WebsiteIndependence_Herstellung_von_Polyurethan-Hartschaumsto/\\$file/sp_PU21012_es.pdf](http://www.pu-systems.bayermaterialscience.com/BMS/BMS_Resource_Center.nsf/id/WebsiteIndependence_Herstellung_von_Polyurethan-Hartschaumsto/$file/sp_PU21012_es.pdf).
- [15] IBID. [3]. p. 13.
- [16] IBID [14]. p. 6.
- [17] IBID [13]. p. 5.
- [18] TZUNUN L., *Calidad de Alfombra Fabricada de Desechos de Hule Natural*. Guatemala 2007. pp. 13 – 14. [En línea]. [Fecha de consulta: el 12 de mayo del 2011 a las 20:50]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1054_Q.pdf.
- [19] BELTRÁN & MARCILLA. *Tipos de Plásticos, Aditivación y Mezclado*. pp. 79 – 81. [En línea]. [Fecha de consulta: el 26 de marzo del 2012 a las 21:40]. Disponible en: <http://iq.ua.es/TPO/Tema2.pdf>.

- [20] BELTRÁN & MARCILLA. *Estructura y Propiedades de los Polímeros*. pp. 38 – 46. . [En línea]. [Fecha de consulta: el 26 de marzo del 2012 a las 22:10]. Disponible en: <http://iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf>.
- [21] INTI. *Materiales Plásticos tradicionales y Materiales Plásticos Biodegradables*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 17 de septiembre del 2012 a las 07:42]. Disponible en: <http://blog.ccoo.es/gallery/17/posicion-inti-sobre-bolsas-de-plastico.pdf>.
- [22] MUÑOZ, Michelle, *Residencia Estudiantil con Materiales Reciclables*. Quito-Ecuador. 2011. [En línea]. [Fecha de consulta: el 14 de noviembre del 2012 a las 10:36]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/829/1/99844.pdf>.
- [23] YOLIMPIO. *Reciclaje del Plástico*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 13 de noviembre del 2012 a las 09:16]. Disponible en: http://www.yolimpio.com/recicla/pdf/4_Reciclaje_del_Plastico_2.pdf.
- [24] CASTRO Guillermo. *Reutilización, reciclado y Disposición final de los Neumáticos*. 2007. pp. 6 – 7. [En línea]. [Fecha de consulta: el 2 de abril del 2012 a las 07:00]. Disponible en: http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/R_eutilizacion%20,%20Reciclado%20y%20Disposicion%20final%20de%20Neumatico.pdf.
- [25] MEDINA, Roselia. *Plásticos Biodegradables*. Mexico. [En línea]. [Fecha de consulta: el 8 de octubre del 2012 a las 14:00]. Disponible en: http://www.cientec.or.cr/ambiente/pdf/plasticos_biodegradables2005-CIENTEC.pdf.
- [26] IBID. [6]. p. 9.
- [27] *Características de los Polímeros Biodegradables*. Pp. 1-2. [En línea]. [Fecha de consulta: el 8 de octubre del 2012 a las 15:10]. Disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6425/03INTRODUCCION.pdf?sequence=3>.
- [28] IBID. [24]. p. 11.
- [29] SHAH. *Biodegradación del ácido poliláctico PLA*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 10 de octubre del 2012 a las 09:05]. Disponible en: <http://fundacion-enlaces.org/site/wp-content/uploads/2012/01/Biodegradaci%C3%B3ndelPLA.pdf>.

- [30] GREENPEACE. *Bolsas Biodegradables*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 10 de septiembre del 2012 a las 14:20]. Disponible en: <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2009/11/bolsas-biodegradables.pdf>.
- [31] INEN. 1165. Determinación de la Resistencia a la Tracción y del Alargamiento Porcentual, Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito, 1985. Pp. 1-2.
- [32] ASTM D395. Standard Methods of Test for Compression Set of Vulcanized Rubber. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- [33] ASTM D2240. Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- [34] INEN 1924. Calzado de Seguridad. Determinación de la Resistencia a la Abrasión de la Suela. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito, 1992. p. 1.
- [35] ASTM D1052. Standard Test Method for Measuring Rubber Deterioration-Cut Growth Using Ross Flexing Apparatus. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- [36] ASTM D624. Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- [37] ASTM D573. Standard Test Method for Rubber – Deterioration in an Air Oven. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- [38] ASTM D792. Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- [39] IBID. [18]. p. 35.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D395. Standard Methods of Test for Compression Set of Vulcanized Rubber. Philadelphia.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D573. Standard Test Method for Rubber – Deterioration in an Air Oven. Philadelphia.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D624. Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers. Philadelphia.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D790. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. Philadelphia.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1052. Standard Test Method for Measuring Rubber Deterioration-Cut Growth Using Ross Flexing Apparatus. Philadelphia.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D2240. Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness. Philadelphia.

BAYER. *Fabricación de Espuma rígida de Poliuretano*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 11 de mayo del 2012 a las 17:43]. Disponible en: [http://www.pu-systems.bayermaterialscience.com/BMS/BMS_Resource_Center.nsf/id/WebsiteIndependent_Herstellung_von_Polyurethan-Hartschaumsto/\\$file/sp_PU21012_es.pdf](http://www.pu-systems.bayermaterialscience.com/BMS/BMS_Resource_Center.nsf/id/WebsiteIndependent_Herstellung_von_Polyurethan-Hartschaumsto/$file/sp_PU21012_es.pdf).

CANO, GARCÍA & URBINA. *Valorización Material y Energética de neumáticos fuera de uso actualización*. [En línea] [Fecha de consulta 7 de noviembre del 2012 a las 20:03]. Disponible en: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/2196/7/NFUs_Actualizacion.pdf.

CASTRO, Guillermo. *Reutilización, reciclado y Disposición final de los Neumáticos*. 2007. [En línea]. [Fecha de consulta: el 2 de abril del 2012 a las 07:00]. Disponible en: http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/Reutilizacion%20,%20Reciclado%20y%20Disposicion%20final%20de%20Neumatico.pdf.

DIAZ Catalina. *Caracterización de Partículas de Neumáticos desintegrados como agregados al asfalto*. Trabajo de grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. 2008.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. INEN. 1165. Determinación de la Resistencia a la Tracción y del Alargamiento Porcentual,. Quito, 1985.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. INEN 1924. Calzado de Seguridad. Determinación de la Resistencia a la Abrasión de la Suela. Quito, 1992.

MUÑOZ Michelle, *Residencia Estudiantil con Materiales Reciclables*. Quito-Ecuador. 2011. [En línea]. [Fecha de consulta: el 14 de noviembre del 2012 a las 10:36]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/829/1/99844.pdf>.

PERRY, J. *Manual del Ingeniero Químico*. Séptima Edición. Editorial McGraw Hill. Volumen 1. España 2001.

RECALDE, Paola. *Utilización de Partículas de Neumáticos Usados como Agregados al Asfalto*. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. 2008.

TZUNUN L., *Calidad de Alfombra Fabricada de Desechos de Hule Natural*. Guatemala 2007. [En línea]. [Fecha de consulta: el 12 de mayo del 2011 a las 20:50]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1054_Q.pdf.

VÉLEZ, Verónica. *Caracterización de Partículas de Caucho de Neumáticos Usados para la Elaboración de Láminas Impermeables*. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. 2012.

ANEXOS

ANEXO A

Materias primas para elaborar las láminas impermeables

COMERCIAL 1



COMERCIAL 2





ANEXO B

Micrómetro



ANEXO C

Equipo para medir Desgarre



ANEXO D

Abrasímetro



ANEXO E

Durómetro Shore A



ANEXO F

Equipo para medir Flexión



ANEXO G

Prueba de Resistencia a la Tracción y Alargamiento Porcentual



ANEXO H

Mufla para realizar Envejecimiento Acelerado



ANEXO J

Lámina impermeable obtenida a partir de caucho – espuma de poliuretano

